BaPS

Barometrische **P**rozess-**S**eparation

System zur Bestimmung von mikrobiellen Stickstoff- und Kohlenstoff-Umsatzraten in Böden

Benutzerhandbuch

© UMS GmbH München, Stand Oktober 2002

Rechtliche Hinweise:

Die Barometrische Prozess-Separation ist vom IFU als Patent angemeldet. Die Firma UMS GmbH ist alleiniger Lizenznehmer.

UMS hat dieses Benutzerhandbuch und die BaPS Software mit größter Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Für die Vollständigkeit und Richtigkeit der Angaben kann die UMS GmbH trotzdem keine Gewähr übernehmen. Für eventuelle Schäden wird nicht gehaftet.

Dieses Handbuch darf ohne schriftliche Genehmigung der UMS GmbH weder ganz noch in Teilen mechanisch oder elektronisch vervielfältigt werden.

Wir freuen uns über Ihre Anregungen oder Korrekturen.

© 2000 - 2002 UMS-GmbH München. Alle Rechte vorbehalten.

Windows 95/98/ME, Windows NT 4.0, Windows 2000, Windows XP und Excel sind eingetragene Warenzeichen der Microsoft Corporation.

Pentium ist eingetragenes Warenzeichen der Intel Corporation.

3. Auflage, Oktober 2002

UMS GmbH

Gmunderstr. 37

D-81379 München

Internet: www.ums-muc.de

eMail: BaPS@ums-muc.de

Beschreibung der verwendeten Symbole:

Achtung, wichtiger Hinweis! Nichtbeachtung kann zur Beschädigung des System oder zu Fehlmessungen führen.

An dieser Stelle finden Sie nützliche Hinweise.

An dieser Stelle finden Sie einen Ansprechpartner.

Bitte lesen Sie vor der Inbetriebnahme des BaPS dieses Benutzerhandbuch sorgfältig durch.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 9

2 Lieferumfang 12

3 Inbetriebnahme 13

3.1 Sensorkopf 13
3.2 COM Port ermitteln 13
3.3 Funktionsprüfung 15
3.4 Anschluss eines Thermostaten 15
3.4.1 Kühlkreislauf 15
3.4.2 Externer Temperaturfühler 16

4 Beschreibung der Hardware 17

4.1 Inkubationskammer 17
4.1.1 Dichtung 18
4.2 Der Messkopf 19
4.2.1 Sensorik 20
4.2.1.1 Temperatur 20
4.2.1.2 Druck 21
4.2.1.3 Kohlendioxid 21
4.2.1.4 Sauerstoff 22
4.2.1.5 Septum 22
4.3 BaPS Sensorinterface 23
4.3.1 Schnittstelle 25
4.4 Spritze 26

5 Beschreibung der Software 27

5.1 Systemvoraussetzungen 27
5.2 Installation 27
5.3 Inhalt der BaPS CD 29
5.4 Aufbau der Software 29
5.4.1 Das Konfigurationsfenster 29
5.4.2 Das Messfenster 30
5.4.3 Das Auswertefenster 30
5.5 Datensicherheit 32

5.6 COM Port Einstellung 32
5.7 Fehlermeldungen 32
5.8 Online Hilfe 34
5.9 Info 34

6 Eine BaPS-Messung 35

6.1 Voraussetzungen für eine zuverlässige Messung 35
6.2 Entnahme der Bodenprobe und Transport 35
6.2.1 Entnahme 35
6.2.2 Transport 36
6.3 Montage des Messkopfes 37
6.3.1 Einbau des Bodentemperaturfühlers 37
6.3.2 Verschrauben 37
6.3.3 Elektronischer Anschluss 38
6.4 Temperieren des Systems 38
6.5 Einstellungen vor der Messung 39
6.5.1 Register Konfiguration 40
6.5.1.1 Bodensäulen 41
6.5.1.2 Temperaturschwankung 41
6.5.1.3 Bodenwasserbestimmung 42
6.5.1.4 Weitere Angaben 44
6.5.2 Register Beenden der Messung 45
6.5.2.1 Schwellenwerte 46
6.5.2.2 Genauigkeit der Ratenberechnung 47
6.5.3 Register Information 48
6.5.4 Register Spezielle Parameter 49
6.5.4.1 NxOy-Koeffizient 49
6.5.4.2 aut/het-Koeffizient 50
6.5.4.3 Fehler gelöste Gase 51
6.6 Die Messung 51
6.6.1 Headspacebestimmung und Dichtigkeitstest 52
6.6.2 Automatische Messung 54
6.6.2.1 Tabellarische Darstellung 56
6.6.3 Ende der Messung 57
6.6.4 Auswertefenster 58

6.7 Bestimmung des Wassergehaltes der Bodenproben 61
6.8 Dokumentation, Weiterverarbeitung der Daten 62
6.8.1 Messprotokoll 62
6.8.2 Drucken der Ergebnisse 62
6.8.3 Importieren in andere Anwendungen 63
6.8.4 Berechnung mit Hilfe der Excel® Datei 64

7 Wartung und Service 66

7.1 Reinigung der Kammer 66
7.2 Dichtigkeitstest 66
7.3 Online Abfrage der Sensoren 67
7.4 Kalibration der Sensoren 68
7.4.1 Kalibrationsdaten 68
7.4.1.1 Polynome 69
7.4.1.2 Weitere Optionen 69
7.4.1.3 Temperatur 70
7.4.1.4 Druck 71
7.4.1.5 Kohlendioxid 72
7.4.1.6 Sauerstoff 72
7.4.1.7 User Kanäle 73
7.4.2 Digitale Kanäle 73

8 Theorie zu BaPS 74

8.1 Nitrifikation und Denitrifikation im Boden 74
8.1.1 Bisher angewandte Meßmethoden 75
8.1.2 ^{15}N-pool dilution Technik 75
8.1.3 Bestimmung der Netto-Rate 76
8.1.4 Inhibitionstechniken 76
8.2 BaPS 77
8.3 Bestimmbare Parameter 77
8.4 Beschreibung der Messmethode 78
8.5 Einzelprozesse 78
8.6 Relevante Gleichungen 78

9 Berechnung 81

9.1 Beschreibung der verwendeten Algorithmen 81

9.1.1 Grundlegende Gleichungen ... 81
9.1.2 Berechnung der Gas-Umsatzraten aus den Meßwerten ... 81
9.1.2.1 Headspacevolumen ... 81
9.1.2.2 Wasservolumen ... 81
9.1.2.3 Gesättigter Wasserdampfdruck ... 82
9.1.2.4 Gelöstes Kohlendioxid ... 83
9.1.2.5 Gelöster Sauerstoff ... 84
9.1.2.6 Gaskonzentration ... 85
9.1.2.7 Gas-Umsatzraten ... 85
9.1.3 Denitrifikation ... 85
9.1.4 Bodenatmung ... 86
9.1.5 Nitrifikationsrate ... 87
9.1.6 In den Formeln verwendete Abkürzungen ... 88
9.1.6.1 Variablenverzeichnis ... 88
9.1.6.2 Messwerte ... 89
9.1.6.3 Konstanten ... 90
9.1.7 Fehlerrechnung ... 90
9.1.7.1 Sensorfehler ... 90
9.1.7.2 Druck ... 91
9.1.7.3 Temperatur ... 91
9.1.7.4 Sauerstoff ... 91
9.1.7.5 Kohlendioxid ... 91
9.1.8 Weitere Fehlerquellen ... 92
9.1.8.1 Messtechnik ... 92
9.1.8.2 Systematische Fehler ... 92
9.1.9 Zur Fehlerrechnung ... 93
9.1.10 Headspacemessung ... 93
9.1.11 Wassergehalt ... 93
9.1.12 Gelöste Gase ... 94
9.1.12.1 Gaspartialdruck ... 94
9.1.12.2 Gelöstes Kohlendioxid ... 94
9.1.12.3 Gelöster Sauerstoff ... 95
9.1.13 Gaskonzentrationen ... 96
9.1.14 Gas Umsatzraten ... 96
9.1.15 Denitrifikation ... 97

9.1.16 Bodenatmung 97
9.1.17 Nitrifikationsrate 98
9.1.18 Eingaben vor der Messung 98

10 Fehlersuche 100

11 Technische Daten 101

11.1 Elektronik 101
11.2 Mechanik 102
11.3 Sensorik 103
11.4 Kohlendioxid 103
11.5 Sauerstoff 104
11.6 Druck 104
11.7 Temperatur 105
11.8 Systemvoraussetzungen 106

12 Ersatzteile und Zubehör 107

12.1 Ersatzteile 107
12.1.1 BaPS Kalibrierservice 107
12.1.2 Ersatzteilliste 107
12.2 Zubehör 109
12.2.1 Kältethermostat 109
12.2.2 Inkubationsbehälter 110
12.2.3 Stechzylinder-Set zur ungestörten Bodenprobennahme 112
12.2.4 Weiteres Zubehör 114

13 Literaturverzeichnis 115

14 Index 116

15 Ansprechpartner 120

16 Notizen 122

1 Einführung

Die **B**arometrische **P**rozess-**S**eparation (**BaPS**) ist eine neue Methode, mit der mikrobielle Kohlenstoff- und vor allem Stickstoff-Umsatzraten in organischen und mineralischen Böden bestimmt werden können. Insbesondere sind dies die Brutto-Nitrifikation und die Brutto-Denitrifikation.

Die Nitrifikation [SCHL 1992] ist der entscheidende Prozess der Nitrat-Nachlieferung im Boden. Bisher steht zu seiner Erfassung nur ein sehr aufwendiges Verfahren, die ^{15}N-pool dilution Technik, zur Verfügung [MOS 1993].

Nitrat ist von hoher Umweltrelevanz, da

- der darin enthaltene Stickstoff ein Makronährelement für Pflanzen ist,
- und Nitrat andererseits als Schadstoff das Grund- und Trinkwasser belastet.

Nitrat und seine im menschlichen Körper umgesetzten Folgeprodukte sind gesundheitsschädlich. Eine zu hohe Nitratbelastung, vor allem von Trinkwasser, muß deshalb vermieden werden. Als Grenzwert gilt dabei 50 mg/l, bei Kleinkindern ist dieser Grenzwert jedoch schon als bedenklich einzustufen.

Es ist bekannt, dass Nitratflüsse unter landwirtschaftlichen Nutzflächen, als Folge der Düngung, heute die wichtigste Quelle der Nitratbelastung des Grundwassers und damit unserer Trinkwasserversorgung darstellen. Die messtechnische Bestimmung der Stofflasten und -Frachten (v.a. Nitrat) ist jedoch problembehaftet. Dieser Bestimmung kommt jedoch in der täglichen Praxis eine Schlüsselrolle zu, um über "richtige" Düngung und Bewässerung zeitnah zu entscheiden.

Mit dem am Fraunhofer Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IFU) entwickelten, patentierten Verfahren [ING 1999], das eine einfache und zuverlässige Bestimmung der Brutto-Umsatzraten ermöglicht, ist eine Untersuchung und Überwachung der Stickstoffumsätze im Boden durchführbar. Da die Messung vergleichsweise schnelle Ergebnisse liefern kann (innerhalb von 5 bis 12h), sind z.B. Düngeempfehlungen erarbeitbar.

Damit ist es möglich, den Stickstoff-Düngemitteleinsatz zu optimieren und das Grundwasser zu schonen. Zusätzlich kann mit der Kenntnis der Stickstoffumsatzraten im Boden ein tieferes Verständnis für die mikrobiologischen

Abläufe im Boden gewonnen werden. Daher ist dieses System sehr gut für wissenschaftliche Studien in diesen Bereichen geeignet.

Messablauf

Eine BaPS-Analyse beginnt im Gelände mit der Entnahme der Bodenproben. Dazu werden Stechzylinder eingesetzt, womit die Untersuchung von möglichst wenig gestörten Proben möglich ist. Im BaPS werden 7 Proben gleichzeitig untersucht. Durch geeignete Probenauswahl vor Ort ist damit eine, der Realität von heterogenen Böden möglichst nahe kommende Analyse möglich.

Anschließend werden die Proben ins Labor gebracht. Dazu kann der BaPS-Behälter mit dem speziell dafür mitgelieferten Transportdeckel eingesetzt werden. Im Labor wird der Messkopf aufgesetzt und an das BaPS Sensorinterface angeschlossen. Damit sind die BaPS-Proben luftdicht verschlossen.

Die Proben werden auf die gewünschte Temperatur gebracht, wozu am besten ein Thermostat mit externem Temperierkreislauf eingesetzt wird.

Vor der Messung benötigt die Software einige Eingaben. Um trotzdem schnell und unproblematisch mit einer Messung beginnen zu können, sind an allen notwendigen Stellen plausible Vorgabewerte eingetragen.

Hat das System die gewünschte Temperatur bei entsprechender Temperaturstabilität erreicht, wird die Messung über die mitgelieferte Windows-Software gestartet. Um eine ausreichende Messgenauigkeit zu erreichen, müssen Mindeständerungsraten bei den verschiedenen Messparametern erreicht werden. Die Messgenauigkeit kann dementsprechend durch Verlängerung der Messzeit gesteigert werden.

Während der Messung werden die Messdaten und die berechneten Raten online angezeigt. Damit ist es möglich die laufende Messung und Ihre Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu bewerten.

Die Messung wird beendet, wenn die gewünschte Messgenauigkeit erreicht ist. Dies kann entweder manuell erfolgen, oder automatisiert. Bei einem automatisierten Beenden überwacht das System vorgegebene Mindest-Änderungsraten oder Genauigkeitsvorgaben.

Die Auswertung der Daten erfolgt automatisch. Zur Weiterverarbeitung können diese ausgedruckt, oder in andere Windows-Anwendungen importiert werden.

Eine genaue Beschreibung des BaPS Messablaufs finden Sie im Kapitel „Eine BaPS-Messung“.

Die BaPS-Methode ist nur in Böden anwendbar die nicht staunass sind. In staunassen Böden laufen Prozesse ab, die von BaPS nicht gemessen und damit nicht berücksichtigt werden können.

2 Lieferumfang

Folgende Komponenten müssen bei der Auslieferung des BaPS enthalten sein:

- ✔ Dieses Benutzerhandbuch
- ✔ CD-ROM mit BaPS Software
- ✔ BaPS Behälter
- ✔ BaPS Sensorkopf
- ✔ BaPS Transportdeckel
- ✔ BaPS Thermobox
- ✔ 7 Flügelmuttern (ein Ersatz)
- ✔ CO_2 Sensor
- ✔ Drucksensor
- ✔ 7 Stechzylinder
- ✔ 14 Deckel für Stechzylinder
- ✔ BaPS Sensorinterface mit drei fest angeschlossenen Kabeln
- ✔ Vakuumdichte Spritze 10 ml, mit einer Ersatznadel
- ✔ Zwei Schnellkupplungen für die Temperierflüssigkeit
- ✔ 4-pol. selbstkonfektionierbarer Steckverbinder für externen Temperaturfühler
- ✔ Drei Dichtringe
- ✔ 20 Septen aus Silikon, Ø 12 mm
- ✔ Schnittstellenkabel
- ✔ Netzkabel
- ✔ Dichtfett
- ✔ Gabelschlüssel 13/17er

3 Inbetriebnahme

Zur Installation der Software siehe Kapitel 5.2 Installation (Seite 27).

3.1 Sensorkopf

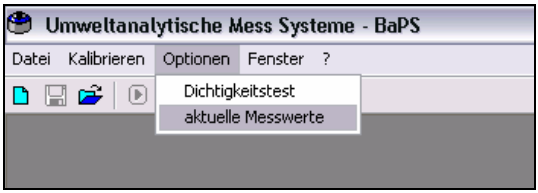
Schrauben Sie den CO_2- und den Druck-Sensor von Hand in den Sensordeckel ein (dazu müssen die Steckverbinder gelöst sein). Ziehen Sie beide Sensoren fest an. Bitte achten Sie dabei darauf den Temperaturfühler, der sich auf der gegenüberliegenden Seite befindet, nicht zu beschädigen.

Stellen Sie das BaPS Sensorinterface auf und schließen Sie die drei Verbindungskabel am Sensorkopf an. Stecken Sie nun das Netzkabel ein.

Verbinden Sie Ihren Computer mit dem Interface mit Hilfe des mitgelieferten Schnittstellenkabels.

3.2 COM Port ermitteln

Schalten Sie das BaPS Sensorinterface ein (grünes LED muss leuchten) und starten Sie die BaPS Software. Wählen Sie aus der Menüleiste der Software die Funktion Datei ➔ Eigenschaften aus.



Es öffnet sich nun das Eigenschaftsfenster. Sie können entweder den COM Port selbst auswählen oder Sie Starten die automatische Suchen nach dem COM Port über den Button „Suchen“ im Register Verbindung. Bitte bestätigen Sie Ihre Auswahl über den Button „Übernehmen“.

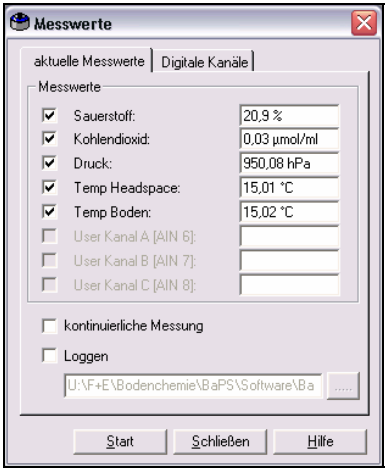
Falls das Herstellen eine Verbindung zum Sensorinterface nicht funktioniert, sollten Sie folgende Punkte beachten:

- ➜ Ist das Sensorinterface über das Schnittstellenkabel mit dem PC verbunden?
- ➜ Würde das richtige Schnittstellenkabel verwendet?
- ➜ Sind die Schnittstellenstecker korrekt mit den Buchsen verbunden?
- ➜ Ist das Sensorinterface eingeschalten?
- ➜ Wird der COM Port von einer anderen Anwendung belegt?

(siehe auch Kapitel 10 Fehlersuche)

3.3 Funktionsprüfung

Nun kann eine erste Funktionsprüfung erfolgen. Warten Sie ca. zwei Minuten nach dem einschalten des Sensorinterface bis sich der Sauerstoffsensor stabilisiert hat. Wählen Sie aus dem Menü der Software die Funktion Optionen ➔ aktuelle Messwerte. Das Fenster aktuelle Messwerte öffnet sich und es müssen plausible Messwerte erscheinen.



Sie können das Fenster, wie in Windows-Programmen üblich, durch anklicken des ☒ im oberen rechten Eck oder über den „Schließen-Button“ wieder schließen.

3.4 Anschluss eines Thermostaten

3.4.1 Kühlkreislauf

Wenn Sie über einen Thermostaten mit externem Kühlkreislauf verfügen, schließen Sie nun die beiden mitgelieferten Schnellkupplungen an die externen Schläuche Ihres Thermostaten an. Die Schnellkupplungen sind für einen Schlauchinnendurchmesser von 6 ... 6,2 mm vorgesehen.

Die weiblichen Kupplungen an den Schläuchen werden auf die bereits am BaPS-Behälter angeschraubten männlichen Adapter aufgesteckt und rasten selbständig

ein. Sind die Schnellkupplungen gelöst, so verhindern integrierte Ventile ein Auslaufen der Kühlflüssigkeit.

Zum Lösen der Schnellkupplungen müssen die Metall-Clips gedrückt werden.

Je nach Thermostattyp muss der externe Kreislauf beim Betrieb geschlossen sein. Schließen Sie in diesem Fall immer zuerst das BaPS über die Schnellkupplungen an den Thermostaten an, bevor Sie den Thermostaten anschalten.

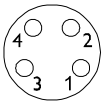
Bitte beachten Sie die Hinweise in der Bedienungsanleitung des Herstellers des Thermostaten.

3.4.2 Externer Temperaturfühler

Wenn Ihr Thermostat in der Lage ist, einen externen PT100 Temperatursensor als Regelfühler einzusetzen, können Sie dazu den im BaPS Bodentemperaturfühler integrierten PT 100 nutzen. Der Anschluß erfolgt über die 4-pol. Buchse auf der Rückseite des BaPS Sensorinterface. Bitte schließen Sie den mitgelieferten 4-pol. Stecker nach folgendem Anschlußbild an (4-Leiter Meßprinzip):

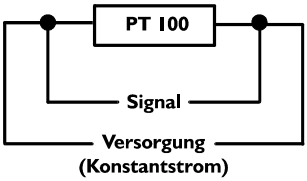
Pin 1 = Vers. + Pin 3 = Signal –

Pin 2 = Signal + Pin 4 = Vers -



Steckerbelegung
Lötseite

Messprinzipskizze PT100, 4-Leiter:



4 Beschreibung der Hardware

4.1 Inkubationskammer

Die Inkubationskammer besteht aus eloxiertem Aluminium. Dadurch wird eine gute thermische Leitfähigkeit und eine hohe mechanische Stabilität, bei geringem Gewicht, erreicht.

Die Bodenproben werden mit den mitgelieferten 7 Stechzylindern (Höhe 40,5 mm, Ø 60 / 56 mm) genommen und in die Inkubationskammer, in die dafür vorgesehenen Aussparungen, gestellt. Zum Transport der Inkubationskammer mit den Bodenproben wird als Verschluss der Transportdeckel verwendet. Zur Messung wird dieser im Labor gegen den Messkopf ausgetauscht. Bitte nehmen Sie den Messkopf nicht mit ins Gelände, um Verschmutzung oder Beschädigungen zu vermeiden.

Im Boden der Kammer ist eine Kühlschlange integriert. Über diese kann das BaPS temperiert werden. Der Anschluss der Temperierflüssigkeit erfolgt über die beiden Schnellkupplungen aus Kunststoff.

Falls Ihnen kein Thermostat mit externer Kühlung zur Verfügung steht, kann die richtig verschlossenen BaPS Inkubationskammer bis zur ersten Rille des 24-pol. Steckers problemlos in ein Wasserbad eingetaucht werden.

Vor dem eintauchen der BaPS Inkubationskammer in ein Wasserbad, muss darauf geachtet werde, dass die Inkubationskammer richtige verschlossen wurde, um das eindringen von Wasser und somit das beschädigen der Sensoren zu vermeiden.

Bitte achten Sie darauf, dass die Dichtfläche für den O-Ring des Sensorkopfes nicht beschädigt wird.

4.1.1 Dichtung

Je Vor dem Verschließen der Kammer muss darauf geachtet werden, dass die Dichtflächen und der Dichtring sauber und in Ordnung sind. Nur so kann die nötige Gasdichtigkeit erreicht werden.

Der Dichtring besteht aus NBR mit einer Shore-Härte von 50. NBR ist gasdicht, abriebfest und beständig gegen die meisten Chemikalien. Sollte der Dichtring trotzdem beschädigt sein, muss er in jedem Fall ausgewechselt werden.

TIP **Zur Verbesserung der Dichteigenschaften können die Dichtflächen und der Dichtring dünn mit Vakuum-Dichtfett bestrichen werden. Dieses Fett erschwert jedoch die Reinigung, weshalb in diesem Fall besonders auf Vermeidung von Verschmutzungen geachtet werden muss.** TIP

Der Transportdeckel und der Messkopf werden mit 6 Flügelmuttern angepresst. Für den Transport reicht ein leichtes Anziehen der Muttern aus. Für die Messung werden die Muttern gleichmäßig über Kreuz angezogen, bis der Deckel formschlüssig auf der Kammer aufsitzt. Ziehen Sie dazu die Muttern nur „handfest“ an - wenden Sie keine Gewalt an.

INFO **Die Lebensdauer des Dichtringes wird durch UV-Strahlung (Sonneneinstrahlung) stark reduziert.** **INFO**

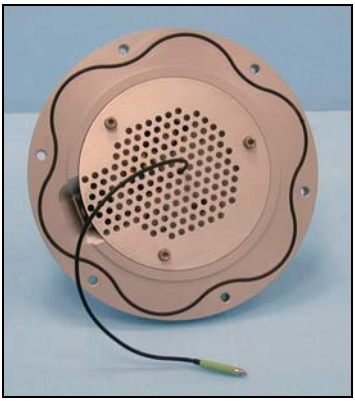
4.2 Der Messkopf

Im Messkopf sind die Sensoren, das Septum und der Ventilator integriert. Die Sensoren werden auf der Unterseite des Messkopfes durch das Lochblech vor mechanischer Beschädigung geschützt.

Um kondensierende Feuchte an den Sensoren zu vermeiden, muss der Messkopf immer vor dem Temperieren an die Versorgung angeschlossen und eingeschaltet werden. Schalten Sie dazu das BaPS Sensorinterface am Netzschalter an, nachdem Sie die Kabel am Messkopf eingesteckt haben. Der Schalter befindet sich auf der Rückseite des Sensorinterface-Gehäuses.

Bei einer Erwärmung der Kammer durch ein Temperiergerät ist die Gefahr durch kondensierende Feuchtigkeit an den Sensoren besonders hoch. Hierbei verdampft Bodenwasser, das sich am Sensorkopf niederschlagen kann. Eine Erwärmung sollte deshalb immer sehr langsam erfolgen, damit der Deckel der Temperaturänderung folgen kann.

Der Sensorkopf darf nur während einer Messung angeschraubt bleiben. Nehmen Sie den Sensorkopf sofort nach jeder Messung ab, damit sich keine Feuchtigkeit aus den Bodenproben niederschlagen kann.



4.2.1 Sensorik

Für die automatisierte BaPS-Messung werden alle benötigten Parameter mit Sensoren gemessen. Die Genauigkeit der Messung hängt empfindlich von den Sensorgenauigkeiten ab, weshalb sehr hochwertige Sensoren eingesetzt werden müssen. Großer Wert wird dabei vor allem auf die Signalstabilität gelegt.

Die Funktionsweise der Sensoren wird im Folgenden beschrieben. Für genaue Spezifikationen siehe Abschnitt technische Daten.

4.2.1.1 Temperatur

Mikrobiologische Prozesse hängen empfindlich von der Temperatur ab. Deshalb ist es notwendig die Prozesse im BaPS bei definierten Temperaturen zu messen. Zur Temperatur -Überwachung und -Regelung werden drei Sensoren im System eingesetzt.

Als Temperatursensoren werden PT 100/1000 mit Genauigkeitsklasse 1/3 DIN B+ eingesetzt (Abweichung <0,1K bei 0°C).

Es wird sowohl im Boden als auch im Headspace die Temperatur gemessen. Erst wenn sich eine ausreichende Temperaturstabilität eingestellt hat, beginnt die Messung.

Der Bodenfühler ist mit zwei unabhängigen Temperatursensoren ausgestattet. Einer der Sensoren steht zur externen Regelung, z.B. mit einem Thermostaten, zur Verfügung. Dieser kann über die vierpolige Steckverbindung an der Rückseite des BaPS Sensorinterface abgegriffen werden (siehe externer Temperaturfühler). Die Messung erfolgt im Vierleiter-Prinzip. Der Bodenfühler kann mit einem feuchten Tuch gereinigt werden.

INFO Die aufgrund der mikrobiologischen Prozesse geforderte Temperaturstabilität erleichtert zudem die Messung, da Temperaturdrifts von Sensoren und temperaturbedingte Druckänderungen klein sind. INFO

4.2.1.2 Druck

In der Inkubationskammer wird der Absolutdruck gemessen. Als Sensor wird eine edelstahlgekapselte, piezoresistive Druckmesszelle mit einem Messbereich von 800 ... 1200 hPa eingesetzt.

Dieser Sensor verfügt über einen integrierten Messverstärker und ist im Bereich 0 ... 50 °C temperaturkompensiert.

Der Drucksensor wird über eine eigene Steckverbindung an die Elektronik angeschlossen.

Der Drucksensor sollte mindestens alle zwei Jahre nachkalibriert werden (siehe Kapitel 12 Ersatzteile und Zubehör).

4.2.1.3 Kohlendioxid

Als CO_2 Messgerät wird ein Einstrahl-IR-Sensor für einen Messbereich von 0 ... 3 Vol% eingesetzt. Infrarot-CO_2 Sensoren nutzen die Absorption von IR-Licht bei bestimmten Wellenlängen aus (CO_2 -Molekülschwingungen). Sie arbeiten dadurch sehr stabil und selektiv.

Der CO_2 -Sensor wird ebenfalls über eine eigene Steckverbindung an die Elektronik angeschlossen. Der CO_2 -Sensor muss vor dem Einschalten der Elektronik unbedingt eingesteckt sein.

Der CO_2 -Sensor sollte jährlich nachkalibriert werden (siehe Kapitel 12 Ersatzteile und Zubehör).

4.2.1.4 Sauerstoff

Zur Messung des Sauerstoffs wird ein ZrO_2 Sensor mit einem Messbereich von 0 … 25 Vol% eingesetzt. Bei diesem Sensor wird ausgenutzt, dass ZrO_2 bei ca. 350 bis 500 °C Sauerstoff transportieren kann. Der Sensor muss entsprechend beheizt werden und benötigt etwa 10 min Anlaufzeit, bis er seine volle Spezifikation erreicht.

Als Messwert dient der Sensorstrom, der sich bei konstanter angelegter Spannung mit dem Volumenanteil des Sauerstoffs im Messgas ändert.

Der Sauerstoffsensor hat eine typ. Lebensdauer von > 5 Jahren und muss nicht nachkalibriert werden. Eine Funktionsprüfung kann an Luft durchgeführt werden. Dabei muss der Sensor ca. 20,8 bis 20,9 Vol% anzeigen.

Ändern Sie niemals die Länge des Kabels vom Sensorkopf zur Elektronik. Dadurch würde sich die Heizspannung am O_2 -Sensor ändern - die Kalibrationsdaten stimmen in solch einem Fall nicht mehr.

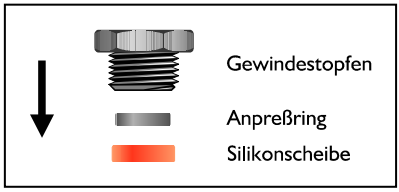
4.2.1.5 Septum

Das Septum ist in den Messkopf integriert. Es besteht aus einer Silikonscheibe, einem Anpressring und einem Gewindestopfen mit einer Bohrung.

Über das Septum kann definiert Gas entnommen und zugegeben werden. Dies ist für die Headspacebestimmung notwendig.

INFO **Zusätzlich können über das Septum Gasproben entnommen werden. Diese können z.B. auf weitere Parameter, oder zur Kalibration der Sensoren in einem Gaschromatographen analysiert werden. Bitte beachten Sie, dass Sie bei der Entnahme von Gas aus dem System immer den Systemdruck ändern.** **INFO**

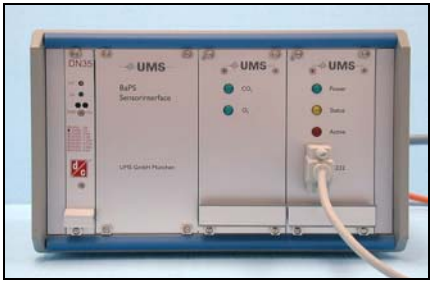
Bitte wechseln Sie das Septum regelmäßig aus, um die Gasdichtigkeit der Kammer nicht zu gefährden (nach ca. 20 Einstichen) - durchstechen Sie das Septum immer an unterschiedlichen Stellen.



Schrauben Sie zum Wechsel des Septums den Gewindestopfen ab (17er Gabelschlüssel) und drücken Sie die Silikonscheibe von der Innenseite aus der Gewindebohrung heraus. Drücken Sie nun eine neue Silikonscheibe in die Bohrung hinein und legen Sie den Anpressring darüber (siehe Bild). Schrauben Sie anschließend den Gewindestopfen wieder fest.

4.3 BaPS Sensorinterface

Das Sensorinterface ist für die Wandlung der analogen Sensor-Signale in digitale Signale und für die Kommunikation mit dem Computer zuständig.



Sollten Sie Fragen zur Elektronik des Sensorinterface haben, steht Ihnen Herr Dipl. Ing. Andreas Steins gerne per e-mail (as@ums-muc.de) oder telefonisch (+49 (0)89 - 12 66 52 - 18) zur Verfügung.

Das Sensorinterface ist in einem Geräteträger-Gehäuse untergebracht. Dies erleichtert die Wartung und den Austausch von Komponenten.

Der Netzanschluss erfolgt über einen Kaltgerätestecker, der Netzschalter befindet sich auf der Rückseite. Wird die Elektronik eingeschaltet, werden alle angeschlossenen Sensoren im Messkopf mit Strom versorgt. Nach dem Einschalten leuchten die Diode am Netzteil und die Powerdiode am BaPS-Einschub.

Im Netz-Schalter ist eine Sicherung 230V / max. 1A flink integriert (Ersatzsicherung ist im Lieferumfang enthalten, Sie finden diese in der Sicherungsschublade). Diese kann von außen ausgewechselt werden (Gerät vom Netz abstecken!). Ziehen Sie dazu die Sicherungsschublade heraus, indem Sie den Schnappverschluss nach oben drücken. Wechseln Sie die Sicherung aus und schieben Sie die Schublade wieder in Ihre Halterung zurück.

Das Öffnen des Elektronik-Gehäuses darf nur durch einen Fachmann erfolgen. Vor dem Öffnen ist unbedingt der Netzstecker zu ziehen.

Der Messkopf wird über drei, fest mit dem Interface verbundene, Kabel angeschlossen. Um einen falschen Anschluss auszuschließen, sind die Stecker am BaPS-Messkopf unterschiedlich ausgeführt. Verbinden Sie den Sensorkopf bei einer Messung immer mit dem Interface, bevor Sie den Netzschalter betätigen (Initialisierung des CO_2 Sensors).

Im Gehäuse befinden sich drei Einschübe:

- Das Netzteil zur Versorgung
- Ein Einschub mit den Messverstärkern für CO_2 und O_2
- Ein Einschub mit der BaPS-Elektronik

Die RS232 Schnittstelle befindet sich auf der Vorderseite des BaPS-Einschubs. Bitte schließen Sie das mitgelieferte Schnittstellenkabel hier an. Sollte Ihr Computer nur über eine 25-pol. RS232 Schnittstellenbuchse verfügen benötigen Sie einen Adapter. Diesen können Sie bei Bedarf über UMS beziehen.

Das BaPS Interface darf nur in trockenen Räumen verwendet werden. Halten Sie das Interface von starken Wärmequellen fern und setzen Sie das Gehäuse während des Betriebs nicht der direkten Sonneneinstrahlung aus (eine starke Erwärmung führt dazu, dass die Elektronik ihre Genauigkeits-Spezifikationen nicht mehr erfüllen kann).

Darüber hinaus können noch bis zu 3 weitere Sensoren angeschlossen werden. Hiefür wenden sie sich direkt an die UMS GmbH.

4.3.1 Schnittstelle

Zur Kommunikation der PC-Software mit dem BaPS Interface wird die serielle RS232-Schnittstelle eingesetzt. Damit ist das System an jeden beliebigen, IBM-kompatiblen Rechner anschließbar.

Die Verbindung wird über das mitgelieferte Datenkabel (Nullmodemkabel) hergestellt. Dieses kann in beiden Richtungen eingesteckt werden.

TIP **Bitte beachten Sie, dass in der Software der richtige COM Port ausgewählt wird (i. allg. COM1 oder COM2). (siehe auch Kapitel 3.2 COM Port ermitteln)** **TIP**

4.4 Spritze

Mit der Spritze wird ein definiertes Volumen aus dem Headspace entnommen. Damit kann das für die Berechnung der Umsatzraten benötigte Headspacevolumen über die Druckänderung bestimmt werden. Verwenden Sie immer kalibrierte Spritzen, um die Abweichung vom spezifizierten Volumen klein zu halten (Fehler 1%).

Bitte setzen Sie immer geeignete Nadeln ein, um das Septum nicht zu beschädigen (Luer Lock Anschluss, rostfreier Stahl, Außen Ø 0,5 mm, Länge mind. 20 mm).

Zusätzlich wird die Spritze am Ende der Messung benötigt. Da während des Messprozesses im Allgemeinen ein Unterdruck in der Kammer entsteht, muss mit der Spritze Luft nachgefüllt werden. Erst dann kann der Sensorkopf abgehoben werden.

5 Beschreibung der Software

Über die mitgelieferte Software werden alle Einstellungen und alle Servicemaßnahmen durch den Kunden gesteuert.

INFO Zur Software ist eine online-Hilfe hinterlegt über das Hilfe-Menü erreichen (siehe auch Kapitel 5.8 Online Hilfe). INFO

Sollten Sie Fragen zur Software haben, steht Ihnen Herr Dipl. Ing. Thomas Pertassek gerne per e-mail (tp@ums-muc.de) oder telefonisch (+49 (0)89 - 12 66 52 - 17) zur Verfügung.

Die BaPS-Software ist lauffähig unter Windows® 95/98/ME, Windows® NT 4.0, Windows® 2000 und Windows® XP.

5.1 Systemvoraussetzungen

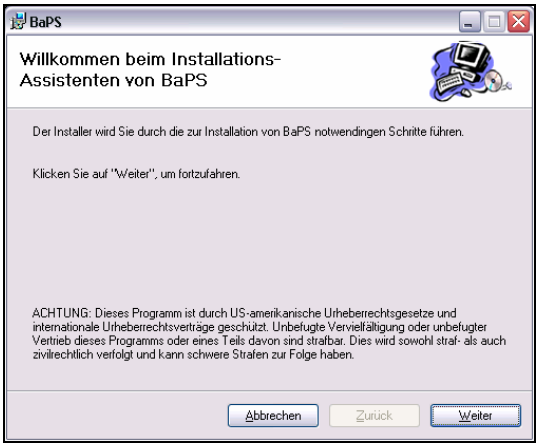
- Pentium 166 oder höher (empfohlen)
- 32 MB Arbeitsspeicher (empfohlen)
- 10 MB freier Speicher auf der Festplatte (notwendig)
- Freie RS232-Schnittstelle (notwendig)
- Graphik: 800 x 600, 65.536 Farben (empfohlen)
- Maus (notwendig)

5.2 Installation

Die Installation starten Sie am einfachsten, indem Sie die Datei „BaPS.msi“ auf der CD direkt aufrufen. Dies kann vom Explorer oder vom Arbeitsplatz aus erfolgen. Doppelklicken Sie dazu mit der Maus auf „Arbeitsplatz“ und anschließend auf Ihr CD-Laufwerk. Starten Sie die BaPS.msi Datei ebenfalls durch einen Doppelklick. Folgen Sie nun den Anweisungen auf dem Bildschirm.

Falls Sie die BaPS.msi Datei nicht ausführen können, benötigen Sie eine aktuelle Version des Windows Installer® von Microsoft. Das Programm befindet Sie auf

der BaPS CD im Verzeichnis Windows Installer. Bitte wählen Sie Ihr Betriebssystem aus und führen die dazugehörige Installationsdatei aus. Folgen Sie nun den Anweisungen am Bildschirm. Nach erfolgreicher Installation können Sie, wie oben beschreiben, die BaPS Software installieren.



INFO **Sollten in Ihrem System sehr viele DLLs (Dynamic Link Libraries) fehlen, so kann es vorkommen, daß das Setup-Programm zuerst einige DLLs installiert und einen Neustart des Computers verlangt. Erst nach dem Neustart erfolgt dann die Installation der Software.** INFO

TIP **Bei der Installation auf Windows® NT-, Windows® 2000- oder WindowsXP-Systemen kann es notwendig sein, zur Installation Administratorrechte zu besitzen. Bitte wenden Sie sich bei einer entsprechenden Fehlermeldung an Ihren jeweiligen Systembetreuer.** TIP

Wenn Sie über kein CD-Laufwerk verfügen, können Sie bei uns Installationsdisketten anfordern. Auf diesen Disketten sind die unten aufgeführten zusätzlichen Dateien aus Platzgründen leider nicht enthalten.

5.3 Inhalt der BaPS CD

Zusätzlich zu der BaPS-Software enthält die CD folgende Dateien:

- Das Benutzerhandbuch im Acrobat Reader- Format (.pdf-Datei).
- Ein excel®-Programm mit der Berechnung, wie sie auch von der BaPS-Software ausgeführt wird. Damit sind die einzelnen Rechenschritte nachvollziehbar oder können geändert werden.
- Bilder vom BaPS im jpg- und tif-Format - für Ihre Veröffentlichungen.
- Den aktuellen Acrobat Reader zum Anzeigen von .pdf-Dateien.
- Windows Installer für die verschiedenen Betriebssysteme

5.4 Aufbau der Software

Die Software ist unterteilt in drei verschiedene Fenster. Diese Fenster spiegeln die einzelnen Abschnitte einer BaPS-Messung wieder. Eine genaue Beschreibung der einzelnen Funktionen finden Sie im Kapitel 6 „Eine BaPS-Messung“.

5.4.1 Das Konfigurationsfenster

Im Konfigurationsfenster werden alle Einstellungen die zu einer Messung nötig sind vorgenommen. Für alle Parameter sind Vorgabewerte eingetragen, die vom Anwender an die jeweilige Messung angepaßt werden können.

Folgende Parameter können eingestellt werden:

- Nötige Informationen für die Messung, wie z.B. der Wassergehalt, die Größe der Proben etc.
- Startbedingungen, wann die Messung beginnen soll.
- Abbruchbedingungen, wann die Messung automatisch beendet werden soll.

Die Messung wird von diesem Fenster aus gestartet, wobei sich automatisch das Messfenster öffnet.

TIP **Um standardisierte Messungen vornehmen zu können, kann eine vordefinierte oder eine alte Konfiguration geöffnet werden (siehe auch „eine BaPS Messung“).** TIP

5.4.2 Das Messfenster

In diesem Fenster werden online alle Messwerte und die berechneten Umsatzraten dargestellt. Dadurch hat der Anwender die Möglichkeit während der Messung die Ergebnisse auf Plausibilität zu prüfen.

Die Darstellung erfolgt in tabellarischer und graphischer Form. Wird eine der Abbruchbedingungen erreicht oder die Messung von Hand beendet, so öffnet sich das Auswertefenster.

5.4.3 Das Auswertefenster

Ist die BaPS-Messung abgeschlossen, öffnet sich das Auswertefenster mit den berechneten Werten. In diesem Fenster können die verwendeten Messpunkte nochmals angepasst werden. Eine nachträgliche Anpassung der Parameter ist ebenfalls möglich.

Die BaPS Software erkennt automatisch, wenn eine abgeschlossene Messdatei geöffnet wird und startet in diesem Fall gleich das Auswertefenster. Dadurch kann eine Messung zu einem späteren Zeitpunkt angepasst werden (z.B. neuer Wassergehalt, Eingabe des Trockengewichtes, etc.).

Wird ein eine nicht beendete Messung geöffnet, bei der noch keine Auswertung erfolgt ist, so fragt das Programm, ob die Messung fortgesetzt werden soll. In jedem Fall ist eine Auswertung der Messdaten möglich.

Für die Auswertung einer BaPS Messung stehen zwei verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Beim Verfahren „*Auswertung mittels delta Werte*“ wird für die Ermittlung der Veränderung des Drucks, der Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration in der Inkubationskammer die Differenz der absoluten Messwerte an zwei unterschiedliche Zeitpunkte berechnet. Der Anwender legt hierfür die beiden Zeitpunkte für die Berechung fest.

Für die Ermittlung der Veränderung des Drucks, der Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration in der Inkubationskammer beim Verfahren „*Auswertung mittels Regression*“ werden die Steigungen der Regressionsgeraden für die Berechnung der Änderung pro Zeit herangezogen. Hierfür legt der Anwender den Bereich der Regressionsgeraden fest. Dieses Verfahren ist zu bevorzugen, da

hierbei „Messwertrauschen“ und „Messwertausreißer“ weniger ins Gewicht fallen.

Welches Verfahren von der BaPS Software für die Berechung der Umsatzraten verwendet wird, kann über Fenster Eigenschaften, vor dem Öffnen einer Messdatei oder vor dem Start einer Messung, ausgewählt werden. Klicken Sie dazu auf „Datei ➔ Eigenschaften“ und wählen Sie das Register „Berechnung“ aus. Im Register „Berechnung“ können Sie die Art der Berechung auswählen.

Hierfür stehen Ihnen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

Art der Berechung	Bemerkung
beide	Beide Verfahren werden für die Berechung herangezogen.
Regressionsgerade	Für die Berechung der Änderungen wird die Steigung von Regressionsgeraden herangezogen.
Delta Messwerte	Die Änderung wird durch Differenzbildung zweier Wertepaare ermittelt

5.5 Datensicherheit

Wenn eine Messung gestartet wird, werden alle Konfigurationsdaten sofort in die von Ihnen angegebene Datei geschrieben. Alle laufenden Messungen des BaPS werden ebenfalls direkt auf der Festplatte abgelegt. Damit gehen auch bei einem versehentlichen Ausschalten oder einem Absturz des Computers keine Messdaten verloren.

TIP **Bitte machen Sie von wichtigen Messdateien immer eine Sicherungskopie auf einem weiteren Datenträger. Damit schließen Sie Datenverlust durch eine defekte Festplatte aus.** **TIP**

5.6 COM Port Einstellung

Um mit der BaPS-Elektronik kommunizieren zu können, muss der richtige COM Port eingestellt werden. Klicken Sie dazu auf „Datei ➔ Eigenschaften“ und wählen Sie den Port aus, an den die Elektronik angeschlossen ist. Sie können den COM Port auch automatisch mit Hilfe der Funktion Suchen auswählen lassen. (siehe dazu auch Kapitel 3.2 COM Port ermitteln)

5.7 Fehlermeldungen

In die BaPS-Software ist ein Fehlerroutineprogramm integriert. Dieses verhindert ein Abstürzen des gesamten Programms und bietet gleichzeitig die Möglichkeit zu einer schnellen Fehleranalyse.

Tritt ein Softwarefehler auf, erscheint folgendes Fenster:

Sie haben drei Möglichkeiten den aufgetretenen Fehler zu dokumentieren und an uns zu übermitteln. Diese Möglichkeiten können Sie durch Anklicken von einem der folgenden Knöpfe auswählen:

Sie können das Protokoll drucken, speichern oder per e-mail direkt senden. Bitte senden Sie uns beim Auftreten eines Fehlers immer dieses Protokoll, damit wir den Fehler leichter lokalisieren können.

Bitte teilen Sie uns zusätzlich möglichst genau mit, was Sie ausgeführt haben, als der Fehler auftrat.

Wie das Programm fortfahren soll, können Sie mit „weiterer Programmablauf ...“ bestimmen.

Bei einer Befehlswiederholung tritt der Fehler im Allgemeinen wieder auf. Sie können versuchen das Programm mit dem nächsten Befehl fortzusetzen. Treten jedoch Folgefehler auf, können Sie nur noch die Prozedur verlassen. Bei sehr schweren Fehlern können Sie das komplette BaPS-Programm mit dem letzten Button beenden.

Wir benötigen immer die erste Fehlermeldung. Die weiteren Fehlermeldungen, die Sie eventuell mit „Fortsetzen mit nächstem Befehl“ erhalten sind i. allg. nicht aussagekräftig.

Sollten Programmfehler auftreten, steht Ihnen Herr Dipl. Ing. Thomas Pertassek gerne per e-mail (tp@ums-muc.de) oder telefonisch (+49 (0)89 - 12 66 52 - 17) zur Verfügung.

5.8 Online Hilfe

Als Online Hilfe steht ihnen eine Datei im PDF-Format zur Verfügung. Zur Betrachtung benötigen sie den Adobe Acrobat Reader. Diese Hilfsdatei können sie über das Hilfe-Menü in der BaPS Software erreichen.

Falls sie keinen Adobe Acrobat Reader auf ihrem System installiert haben, finden Sie die notwendigen Installationsdateien auf der BaPS-Software CD-ROM im Verzeichnis Acrobat Reader. Öffnen sie hierzu den Acrobat Reader Ordner auf der CD-ROM und lesen sie die „LiesMich"-Datei für Ihr Betriebssystem. Diese Datei enthält die kompletten Installationsanweisungen und Systemvoraussetzungen.

5.9 Info

Über die Menüleiste „**?** ➔ Info" erreichen sie das Informationsfenster. Hier können sie die Versionsnummer der Software und weitere Systeminformationen abrufen.

6 Eine BaPS-Messung

In diesem Kapitel wird eine BaPS-Messung dargestellt. Dabei werden alle möglichen Optionen beschrieben, so dass Sie nach dem Lesen dieses Kapitels in der Lage sind eine Messung durchzuführen.

6.1 Voraussetzungen für eine zuverlässige Messung

- Ausreichende Temperaturstabilität im Headspace und im Boden
- Gas- und wasserdichtes System
- Ausreichend durchlüfteter Boden
- Bestimmung des Gewichtes der leeren Stechzylinder vor der Probenahme.

  Dies wird benötigt, um das Gewicht der Bodenproben in den Stechzylindern zu bestimmen.

6.2 Entnahme der Bodenprobe und Transport

Zur Probenahme und zum Transport sollte, wenn möglich, die BaPS-Inkubationskammer mit dem mitgelieferten Transportdeckel eingesetzt werden. Die Bodenproben sind dann bereits von Anfang an im richtigen Gehäuse.

Eine Probenahm ohne BaPS-Kammer ist natürlich auch möglich. Hierfür können die beigelegten Schutzkappen für die Stechzylinder verwendet werden. In diesem Fall müssen die Proben im Labor in die BaPS-Inkubationskammer gestellt werden.

6.2.1 Entnahme

Ein Vorteil von BaPS ist die Möglichkeit, fast ungestörte Bodenproben zu untersuchen. Um diesen Vorteil bestmöglich nutzen zu können, sollte zur Bodenprobenahme auf jeden Fall geeignetes Gerät eingesetzt werden [HAR 1992].

Gerne beraten wir Sie, welche Geräte dazu eingesetzt werden können (siehe Kapitel 12 Ersatzteile und Zubehör).

TIP **Ist der Boden locker, so kann der BaPS-Behälter schräg aufgestellt werden. Das erleichtert das Einstellen der Stechzylinder ohne Verlust von Bodenmaterial.** TIP

Bitte achten Sie immer darauf, den Dichtring und die Dichtflächen vor Verschmutzung zu bewahren.

Wählen Sie den Probenahmestandort sorgfältig aus, damit das Messergebnis repräsentativ ist. Notieren Sie Probenahmeort, Datum und wenn möglich die Bodentemperatur und die Bodenfeuchte. Alle dokumentierten Angaben erleichtern die Auswertung der Daten.

Wiegen Sie die Bodenprobe, wenn möglich, bevor Sie sie in die Kammer stellen. Als Tara wird dabei das Gewicht der leeren Stechzylinder genommen. Auf jeden Fall muss die Probe vor der Messung gewogen werden.

6.2.2 Transport

Um im Labor möglichst zügig mit der Messung beginnen zu können, sollte der BaPS-Behälter mit den Proben bereits in etwa auf die bei der Messung einzustellende Temperatur gebracht werden. Dazu kann z.B. eine Thermobox eingesetzt werden. Diese schützt die Proben und die BaPS-Kammer vor zu starker Erwärmung bei Sonneneinstrahlung. Zusätzlich kann das BaPS z.B. mit Kühlelementen vorgekühlt werden.

Für den Transport wird der Transportdeckel auf das BaPS aufgesetzt und mit den Flügelmuttern verschraubt. Bitte ziehen Sie die Flügelmuttern dazu nur leicht an.

6.3 Montage des Messkopfes

Zur Messung wird der Transportdeckel gegen den Messkopf ausgetauscht. Vor dem Aufsetzen des Messkopfes überprüfen Sie bitte noch einmal, ob die Dichtung und die Dichtflächen sauber und in Ordnung sind.

6.3.1 Einbau des Bodentemperaturfühlers

Stecken Sie den Temperaturfühler leicht schräg in die mittlere Bodensäule. Der Sensor sollte so tief eingebaut werden, dass die grüne Umhüllung mit der Stechzylinderoberfläche abschließt.

Keinesfalls darf der Bodentemperaturfühler den Aluminiumboden des BaPS berühren, da in diesem Fall teilweise die Temperatur der Temperierflüssigkeit mitgemessen würde.

Legen Sie das Kabel in einer Schleife über die Stechzylinder. Bitte achten Sie darauf, dass das Kabel nicht mit dem Ventilator in Berührung kommt.

6.3.2 Verschrauben

Der Messkopf wird mit den Flügelmuttern verschraubt. Bitte ziehen Sie die Muttern über Kreuz und in etwa 4 Schritten gleichmäßig so weit an, dass der Deckel kraftschlüssig auf der BaPS-Kammer aufsitzt. Damit ist eine gute Wärmeübertragung vom Gehäuse auf den Deckel gewährleistet. Zusätzlich

können interne oder externe Druckänderungen nicht zu einer Volumenänderung im BaPS, hervorgerufen durch Zusammenpressen des Dichtringes, führen.

6.3.3 Elektronischer Anschluss

Der Messkopf wird über drei Kabelverbindungen an das Sensorinterface angeschlossen. Ein Verpolen der Stecker ist ausgeschlossen.

Bitte beachten Sie, dass die Sensor-Steckverbinder nur im gesteckten Zustand wasserdicht (IP66) sind. Der 24-pol. Steckverbinder, der mit dem Messkopfdeckel abschließt, erfüllt im gesteckten Zustand Schutzgrad IP68.

Bitte stecken Sie vor dem Einschalten des Interface immer den CO_2 -Sensor an. Nur so kann die Elektronik den Sensor initialisieren. Wird der Sensor nachträglich eingesteckt zeigt die Elektronik den Maximalwert von 3 Vol% an (wie ohne Sensor) und eine Messung ist unmöglich.

6.4 Temperieren des Systems

Schalten Sie vor der Temperierung des BaPS immer das Sensorinterface ein. Damit ist die Gefahr von sich bildendem Kondenswasser an den Gassensoren durch deren Eigenerwärmung auf ein Minimum reduziert. Zusätzlich sorgt der laufende Ventilator für eine Umwälzung im Headspace, wodurch sich die Temperaturstabilität schneller einstellt.

Prinzipiell kann zur Temperierung jedes Wasserbad eingesetzt werden. Dabei sollte der Wasserpegel des Bades unterhalb der Sensoren liegen.

Wesentlich genauer erfolgt die Temperierung jedoch mit einem Thermostaten (siehe Kapitel 12 Ersatzteile und Zubehör), der über einen externen Kreislauf und eine aktive Regelung verfügt. Dazu befindet sich im Boden des BaPS-Behälters eine Kühlschlange. An diese kann über die beiden Schnellkupplungen der Thermostatkreislauf angeschlossen werden (siehe Kapitel 3 Inbetriebnahme).

Bitte achten Sie bei einer Erwärmung des BaPS auf einen langsamen Temperaturanstieg um Kondenswasserbildung am Sensorkopf zu vermeiden (siehe Kapitel 3.1 Sensorkopf).

Im BaPS befindet sich ein PT100, der dem Thermostaten zur Temperaturmessung im Boden zur Verfügung steht. Der Anschluss des Thermostaten an diesen Sensor erfolgt auf der Rückseite des Interface.

Der Thermostat sollte über folgende Eigenschaften verfügen:

- Externen Temperierkreislauf
- Anschlussmöglichkeit eines externen Temperatursensors (PT100, Vierleiter Messprinzip)
- PI oder besser noch PID-Regler
- Temperaturbereich 0...50 °C

Typische Zeiten, bis sich eine Temperaturstabilität besser 0,2 °C eingestellt hat betragen mit aktiver Thermostatregelung ein bis zwei Stunden. Erst, wenn die Temperatur stabil ist kann mit der Messung (incl. dem Dichtigkeitstest) begonnen werden.

6.5 Einstellungen vor der Messung

Starten Sie das BaPS-Programm indem Sie der Reihe nach auf „Start ➔ Programme ➔ BaPS ➔ BaPS“ klicken. Das BaPS-Programm startet und Sie können eine neue Messung mit „Datei ➔ Neue Messung“ beginnen.

Bevor die eigentliche BaPS-Messung gestartet werden kann, müssen einige Einstellungen vorgenommen werden. Diese erfolgen über das Fenster „Konfiguration - BaPS“, das sich automatisch bei einer neuen Messung öffnet.

Alternativ kann statt einer neuen Messung auch eine alte Konfigurationsdatei mit vorgegebenen Werten geöffnet werden. Während der Bearbeitung kann dazu jede Konfiguration unter einem eigenen Namen abgespeichert werden. Damit steht die Konfiguration in Zukunft immer zu Ihrer Verfügung.

TIP **Wenn Sie eine Konfiguration aus einer alten Messung benötigen, können Sie die alte Messung öffnen und die Konfiguration nachträglich abspeichern.** TIP

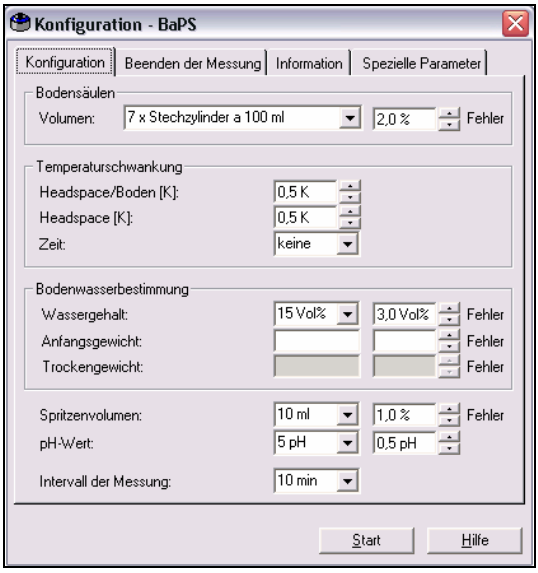
Wurde eine alte Messung nicht ordnungsgemäß abgeschlossen kann diese mit „Datei ➔ Messung öffnen“ wieder gestartet werden. Die BaPS-Software erkennt selbständig, dass diese Messung noch nicht beendet wurde.

Für einige Konfigurationseinstellungen werden Fehlerangaben erwartet. Plausible Fehlerabschätzungen sind bereits als Vorgaben eingetragen (siehe dazu Kapitel Fehlerrechnung). Fehler die sich empfindlich auf die Genauigkeit des Messergebnisses auswirken können, werden als „kritische Fehler“ bezeichnet. Bitte ändern Sie diese Fehler nur bei genauer Kenntnis der Zusammenhänge, um keine falsche Fehlerabschätzung zu erhalten.

Das Fenster „Konfiguration - BaPS“ ist unterteilt in vier verschiedene Register.

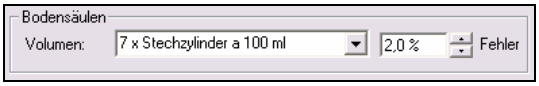
Grundsätzlich können in alle Felder auch von Hand Zahlenwerte eingetragen werden, ohne einen der vorgegebenen Werte aus der Auswahl zu übernehmen. Die richtige Einheit trägt die Software selbst ein. Liegen die Werte außerhalb des zulässigen Bereichs, so lehnt das Programm diese ab.

6.5.1 Register Konfiguration



In diesem Register werden die zur Messung und Berechnung benötigten Angaben gemacht. Zur korrekten Fehlerrechnung müssen immer realistische Fehler angegeben werden. Für alle Angaben sind bereits Standard-Werte eingetragen.

6.5.1.1 Bodensäulen



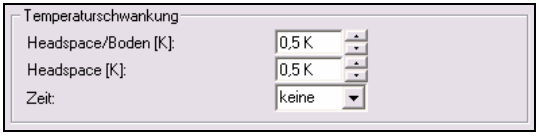
In diesem Dialogfeld wird das Volumen der Bodensäulen eingegeben. Dieser Wert wird bei der späteren Berechnung der Raten benötigt.

Die Angabe erfolgt entweder in ml, oder durch Auswahl vorgegebener Stechzylindergrößen. Wird das Volumen explizit als Zahlenwert eingetragen, so muss das Volumen aller Stechzylinder in Summe angegeben werden.

Sind die Stechzylinder nicht ganz gefüllt, so wird ebenfalls das geschätzte Volumen von Hand eingetragen.

Zusätzlich wird eine Fehlerangabe zum eingetragenen Wert erwartet, damit eine korrekte Fehlerrechnung vom Programm durchgeführt werden kann. Der Fehler wird in % angegeben und ist für die Berechnung unkritisch, solange er kleiner als 2% ist.

6.5.1.2 Temperaturschwankung



Die in diesem Dialogfeld eingegebenen Werte definieren, wann die Messung starten soll.

Im Headspace und im Boden muss eine ausreichende Temperaturstabilität herrschen, bevor die Messung startet. Dazu werden jede Minute die

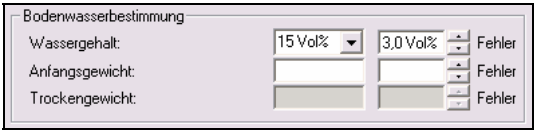
Temperaturen gemessen. Die Temperaturen der letzten 10 Messungen dürfen nicht weiter als die angegebene Temperaturdifferenz auseinander liegen. Eine BaPS-Messung startet entsprechend frühestens nach 10 min, außer sie wird von Hand gestartet.

Wird eine Zeit angegeben, startet die Messung immer spätestens zum angegebenen Zeitpunkt. Die Messung kann jederzeit von Hand gestartet werden.

Bei der Auswertung der Messdaten ist der Startwert auch nachträglich noch wählbar. Deshalb sollte grundsätzlich eher eine zu große Temperaturschwankungsbreite gewählt werden. Der Startwert kann im Nachhinein nach hinten verschoben werden.

INFO **Die Temperaturschwankungen werden auch während der Messung laufend überprüft. Bei Schwankungen über den angegebenen Bereich hinaus erfolgt eine Warnmeldung durch das Programm.** **INFO**

6.5.1.3 Bodenwasserbestimmung



An dieser Stelle müssen vor der Messung der Wassergehalt und das Anfangsgewicht der Bodenproben eingegeben werden (Gewicht ohne Stechzylinder). Das Trockengewicht wird aus diesen Werten automatisch berechnet.

Aufgrund der höheren Genauigkeit sollte das Trockengewicht nach Ende der Messung gravimetrisch bestimmt werden. Wird dieses nachträglich eingetragen, berechnet sich automatisch der Wassergehalt neu. Alle Berechnungen (Raten, Fehler etc.) erfolgen nun mit dem neu eingetragenen Wert.

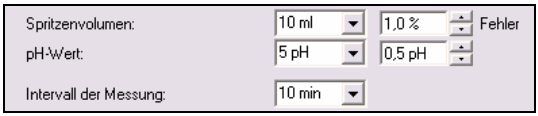
Zum nachträglichen Ändern von Werten, muss die Messdatei geöffnet werden.

Alternativ zur Eingabe des Wassergehaltes in Volumenprozent (VOL%), könne Sie den Wassergehalt auch in Gewichtsprozent (GEW%) eingegeben.

Dies kann über das Fenster Eigenschaften ausgewählt werden. Klicken Sie dazu auf „Datei ➔ Eigenschaften“ und wählen Sie das Register „Berechnung“ aus. Im Register „Berechnung“ können Sie die Art der Wassergehaltsbestimmung auswählen.

Die Parameter Wassergehalt und Trockengewicht sind voneinander abhängig. Wird einer der beiden Werte von Hand eingegeben, so ändert sich automatisch der andere, inklusive des zugehörigen Fehlers. Zur Berechnung wird immer der zuletzt eingegebene Wert herangezogen.

6.5.1.4 Weitere Angaben

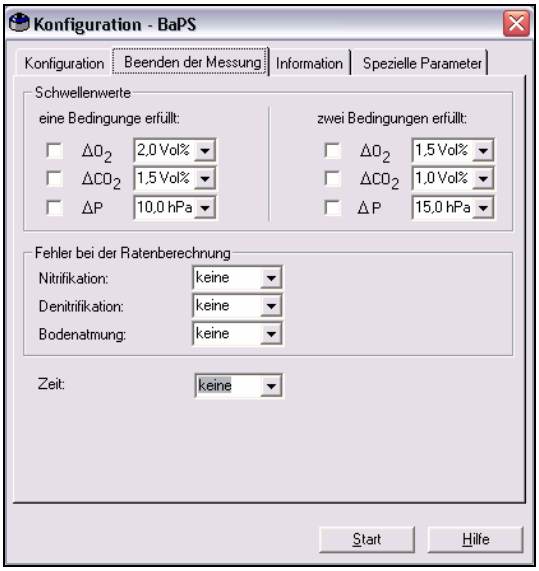


Das Spritzenvolumen wird für die Headspacemessung benötigt. Als Standardvolumen wird eine 10 ml Spritze mitgeliefert. Es sollte eine kalibrierte Spritze mit einem möglichst kleinen Fehler (typ. 1%) verwendet werden. Dieser Fehler geht über die Headspacemessung direkt in alle Berechnungen ein.

Der pH-Wert der Bodenprobe wird für die Berechnung des gelösten CO_2 im Bodenwasser benötigt.

Das Intervall bestimmt die Häufigkeit, mit der Messwerte während der Messung genommen werden. In diesem Intervall erfolgt die Überprüfung der Abbruchbedingungen. Für eine korrekte Messung werden nur die Anfangs- und Enddaten benötigt. Um jedoch die Signalstabilität und die Qualität der Messung überprüfen zu können sollten mind. 10 Messzeitpunkte zwischen den Anfangs- und Enddaten vorhanden sein. Als Vorgabe sind 10 min eingetragen.

6.5.2 Register Beenden der Messung



In diesem Register werden die Schwellenwerte oder Genauigkeitsanforderungen eingegeben, die zu einem automatischen Beenden der Messung führen. Als Defaultwert wird vorgegeben, dass die Messung von Hand abgebrochen wird.

TIP **Wenn keine Abbruchbedingungen ausgewählt wurden, kann die Messung manuell beendet werden. Zuvor können Sie sich mit Hilfe der Onlineanzeige davon überzeugen, ob eine ausreichende Änderungen der Messwerte stattgefunden hat. Für die Berechnung der Umsatzraten können beliebige Messwerte ausgewählt werden.** **TIP**

Prinzipiell gilt: Je größer die Änderungen zwischen Anfangs- und Enddaten in den Messwerten sind, desto genauer wird die Messung, da dann die Sensorungenauigkeiten weniger ins Gewicht fallen. Deshalb sollte ein zu schnelles

Beenden vermieden werden. Wenn das System nicht ausgelastet ist, empfiehlt es sich, möglichst lange zu messen und die Messung von Hand zu beenden.

Werden diese erhöht, führt das einerseits zu einer Verbesserung der Messergebnisse, andererseits zu einer Verlängerung der Messzeit. Wie lange es dauert, bis ausreichende Änderungen gemessen werden, hängt vom Bodentyp, der Temperatur, dem Bodenwassergehalt, der Düngung und weiteren Faktoren ab.

INFO **Die Genauigkeitsberechnungen des Programms hängen von den gemessenen Gasänderungen ab (siehe Fehlerrechnung). Dementsprechend stellen die Eingabemöglichkeiten bei Schwellenwerte und bei Genauigkeit eigentlich zusammenhängende Bedingungen dar. Die Genauigkeitsberechnungen erfolgen während der Messung mit dem vorab eingegebenen Wassergehaltswert. Nach der Messung erhöht sich die Genauigkeit, wenn das Trockengewicht gravimetrisch bestimmt wird.** **INFO**

6.5.2.1 Schwellenwerte

Als Schwellenwerte dienen die Gasmesswerte CO_2, O_2 und Druck. Erst, wenn eine ausreichende Änderung gemessen wurde, wird die Messung beendet. Das Programm fragt grundsätzlich nach, bevor eine Messung beendet wird.

Die Schwellenwerte müssen ausreichend groß gewählt werden, damit die gewünschte Messgenauigkeit erreicht werden kann (siehe Fehlerrechnung).

Es wird unterschieden zwischen Schwellenwerten, von denen nur einer überschritten werden muss und Schwellenwerten, bei denen zwei überschritten

werden müssen. Die Schwellenwerte, bei denen zwei überschritten werden müssen, sollten entsprechend kleiner sein. Je nach Bedarf können bestimmte Werte mit Mausklick aktiviert werden (Haken im Kästchen vor dem jeweiligen Wert). Die nicht mit Haken versehenen Werte sind deaktiviert.

TIP **Folgende Schwellenwerte sollten nicht unterschritten werden, um eine ausreichende Genauigkeit zu erreichen:** TIP

	Eine Bedingung	Zwei Bedingungen
O_2	1 Vol%	0,7 Vol%
CO_2	0,7 Vol%	0,5 Vol%
Druck	5 hPa	3 hPa

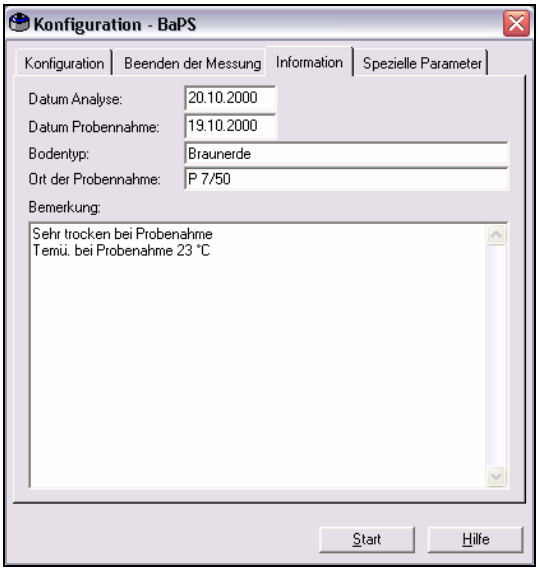
6.5.2.2 Genauigkeit der Ratenberechnung

Zusätzlich zum Abbruch bei den oben beschriebenen Schwellenwerten ist auch ein Abbruch bei Erreichen bestimmter Genauigkeiten in der Berechnung der Raten möglich (siehe Fehlerrechnung). Diese Angaben werden in diesem Fenster gemacht. Die Messung wird bei Erreichen einer der Anforderungen beendet. Die mit dem System erreichbaren Genauigkeiten bei den entsprechenden Böden sollten bekannt sein, damit vernünftige Werte eingetragen werden können.

Die Genauigkeiten werden in % vom berechneten Ratenwert angegeben.

In die Berechnung der Genauigkeiten gehen alle gemachten Fehlerangaben mit ein. Prüfen Sie diese vor der Messung auf ihre Plausibilität.

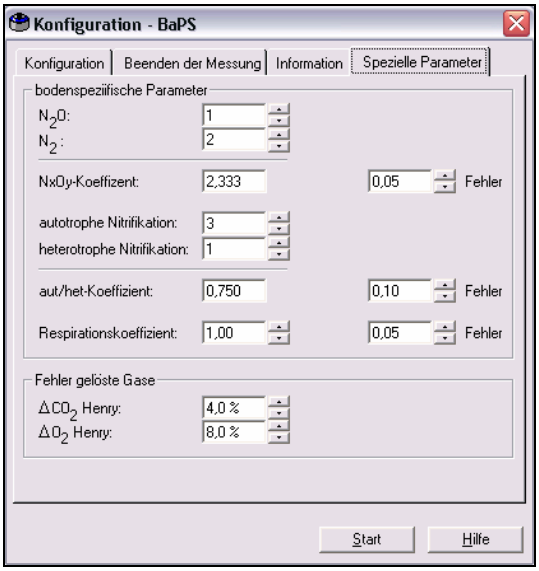
6.5.3 Register Information



Im Informationsfenster können die Messung betreffende Angaben gemacht werden. Diese werden mit der Messdatei abgelegt und sind nachträglich wieder abrufbar.

Hier sollten zumindest die vorgegebenen Felder ausgefüllt werden. Unter Bemerkungen sind beliebig viele weitere Informationen ablegbar.

6.5.4 Register Spezielle Parameter

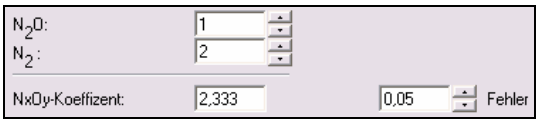


In diesem Fenster werden Bodenspezifische Parameter und die Fehler in der Berechnung des gelösten O_2 und CO_2 angegeben.

Wie kritisch die Eingaben bei bodenspezifische Parameter sind, hängt von dem relativen Anteil der jeweiligen Rate an den Gasumsätzen ab.

Die Angaben bei den jeweiligen Fehlern sollten in jedem Fall vernünftig gewählt werden, um den Gesamtfehler nicht zu unterschätzen. Die Fehler werden absolut eingegeben und beziehen sich auf den jeweiligen Koeffizienten.

6.5.4.1 NxOy-Koeffizient



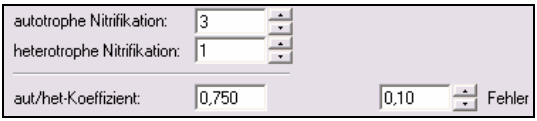
In diesen Dialogfeldern wird das Verhältnis der beiden Endsubstanzen N_2 und N_2O bei der Denitrifikation festgelegt. Diese Information wird benötigt, da pro 5 mol CO_2 entweder 2 mol N_2 oder 2,5 mol N_2O entstehen können (siehe Kapitel 9.1.3 Denitrifikation). Diese Information wird also für die Erstellung der gesamten Gasbilanz benötigt. Der Koeffizient gibt die mol-Menge an und liegt entsprechend zwischen 2 und 2,5. Er wird vom Programm automatisch aus dem eingegebenen Verhältnis berechnet.

Ist das Verhältnis nicht bekannt, so sollte der Koeffizient bei 2,3 belassen werden. Dieser Wert entspricht typischen Verhältnissen.

TIP **Das Verhältnis kann mit beliebigen Zahlenwerten eingegeben werden. Z.B. kann das Verhältnis 1:2 (wie im Bild) auch mit 2:4 oder 3:6 angegeben werden. Eingaben, bei denen zu 100% ein Endprodukt entsteht sollten vermieden werden, da dies in der Realität praktisch nicht erreicht wird.** **TIP**

Die Genauigkeit mit der dieses Verhältnisses bekannt sein sollte, wird mit steigender Denitrifikationsrate wichtiger.

6.5.4.2 aut/het-Koeffizient

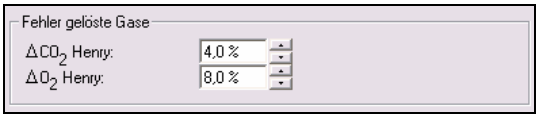


In diesen Feldern wird das Verhältnis von autotropher zu heterotropher Nitrifikation angegeben. Diese Information wird für die Erstellung der CO_2-Bilanz benötigt, da autotrophe Nitrifizierer, im Gegensatz zur heterotrophen, CO_2 binden können.

Heterotrophe Nitrifikation findet eher in sauren Böden statt (Waldböden), autotrophe Nitrifikation überwiegt hingegen z.B. in Ackerböden.

Das Verhältnis wird wie beim NxOy-Koeffizienten eingegeben. Der automatisch berechnete aut/het-Koeffizient liegt zwischen 0 und 1. Dabei bedeutet 1 zu 100% autotrophe Nitrifikation, 0 entsprechen 100% heterotropher Nitrifikation.

6.5.4.3 Fehler gelöste Gase



An dieser Stelle können die Fehler bei der Berechnung der gelösten Gase angepasst werden. Diese Fehler stellen bereits einen Summenfehler dar und sollten nur verändert werden, wenn dazu Anlass besteht (siehe auch Kapitel 9.1.12 Gelöste Gase).

6.6 Die Messung

Nachdem alle Angaben im Konfigurationsfenster gemacht wurden, wird die Messung gestartet. Dies kann entweder vom Menü „Messen ➔ Start“ aus erfolgen, oder vom Fenster „Konfiguration“ aus mit dem

Start-Button

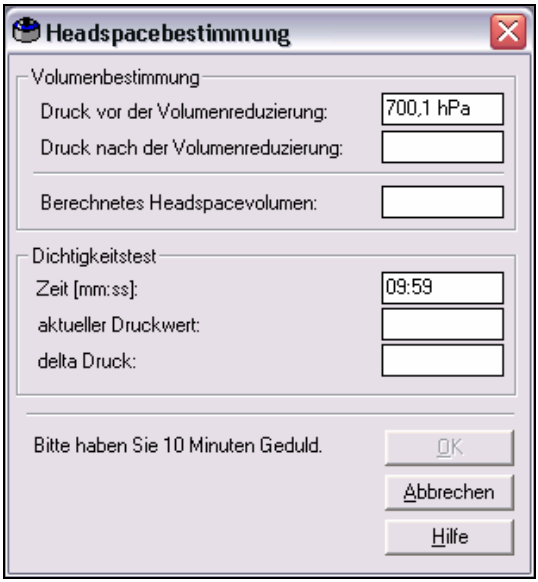
,

oder von der Symbolleiste mit dem

Start-Symbol .

Die Messung beginnt mit der Bestimmung des Headspace.

6.6.1 Headspacebestimmung und Dichtigkeitstest



Als erstes werden Sie aufgefordert den Headspace im BaPS zu bestimmen. Legen Sie sich dazu die gasdichte Spritze (Standard 10 ml) bereit. Drücken Sie anschließen auf „OK“. Die Software holt sich den ersten Druckwert.

Ziehen Sie nun exakt 10ml (oder die in der Konfiguration angegebene Menge) Gas aus dem BaPS. Dazu wird die Spritze in das Septum eingestochen und sorgfältig aufgezogen. Warten Sie nun mind. eine Minute um Druckgleichgewicht zwischen BaPS und Spritze sicherzustellen, der aktuelle Druckwert wird dabei online angezeigt. Drücken Sie erneut auf „OK“, wenn der Druck stabil ist - der zweite Druckwert wird genommen. Aus dem Differenz- und dem Anfangsdruck wird automatisch der Headspace berechnet.

Entnehmen Sie nun die Spritze.

TIP **Liegt der erste Druckwert des Dichtigkeitstests (= aktueller Druckwert) weiter als 0,1 hPa vom zweiten Wert der Headspacebestimmung entfernt, war die Wartezeit zwischen erstem und zweitem Druckwert bei der Headspacebestimmung zu kurz.** **TIP**

Der Druckwert war noch nicht stabil und die Headspacebestimmung ist eventuell fehlerhaft.

Im Anschluss daran wird ein automatischer Dichtigkeitstest durchgeführt (Dauer 10 min), den Sie durch Mausklick auf „Abbrechen“ auch übergehen können. Das System gilt als dicht, wenn sich der Druck in den 10 min um nicht mehr als 0,2 hPa erhöht. Es wird dabei nur ein Druckanstieg berücksichtigt, da die im System ablaufenden Prozesse üblicherweise zu einer Druckabnahme führen. Damit dieser Drucktest funktioniert muss im System Unterdruck gegenüber Atmosphäre herrschen. Das ist eventuell nicht der Fall, wenn das System erwärmt wurde.

INFO **Der Dichtigkeitstest nach der Headspacebestimmung dient als Anhaltspunkt und kann nur zur Feststellung einer groben Undichtigkeit des Systems herangezogen werden. Es sollte alle 3 bis 6 Monate ein separater Dichtigkeitstest durchgeführt werden (siehe Kapitel 7.2 Dichtigkeitstest), um eine einwandfreie Funktion des Messsystems sicher zu stellen.** **INFO**

Geben Sie nach der Aufforderung durch das Programm mit der Spritze wieder 10 ml Gas in den Behälter zurück und drücken Sie anschließend auf „OK“. Das Fenster „Messung-BaPS“ öffnet sich.

Sie werden aufgefordert einen Namen für die Messdatei zu vergeben. Bitte speichern Sie die Messdatei unter einem geeigneten Namen in einem Verzeichnis Ihrer Wahl ab. Die Dateinamen-Endung (.dat) sollte nie verändert werden, da sonst das Programm nicht mehr in der Lage ist nachträglich die Messdatei zu öffnen.

Die Messung wird gestartet, wenn die vorgegebenen Konfigurations-Parameter erreicht sind. Der erste gültige Wert wird in der Tabelle grün markiert, die ungültigen rot. Der erste Messwert ist immer ungültig.

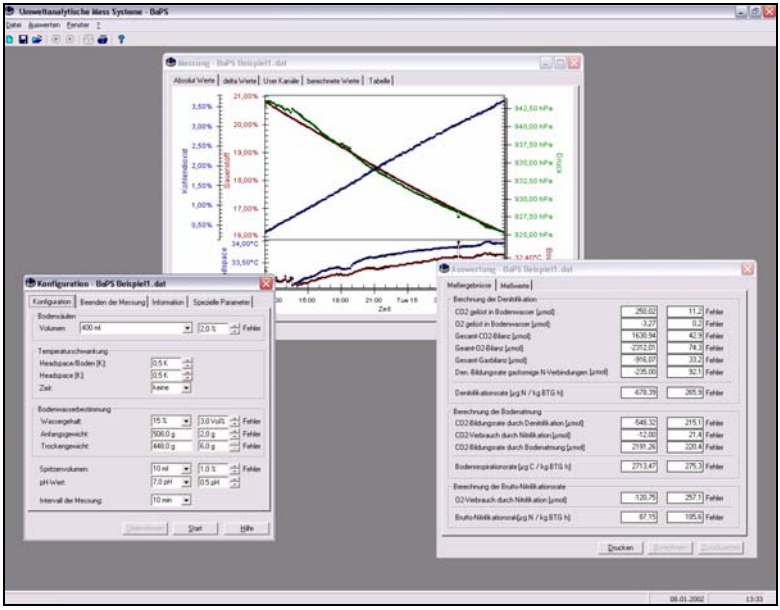
6.6.2 Automatische Messung

Um festzustellen, ob die Temperatur ausreichend stabil ist, werden am Anfang im Minutentakt 10 Messwerte genommen, die nicht dargestellt werden. Der zweite Messwert erscheint also immer nach frühestens 10 Minuten.

Während der Messung werden die Werte graphisch und tabellarisch dargestellt. Die hierbei dargestellten Werte entsprechen nicht den Sensorwerten, sondern stellen die bereits temperaturkompensierten Werte dar. Beim Druck wird der Wasserdampfdruck abgezogen. Die im Boden gelösten Gase sind ebenfalls berücksichtigt.

Damit ist eine tatsächliche Bewertung der Umsätze möglich, auch wenn z.B. die Temperatur nicht ganz konstant ist.

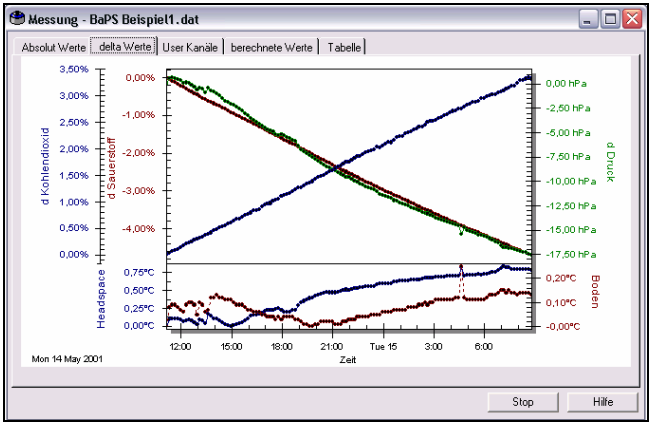
Graphische Darstellung



Die Achsabschnitte der Ordinaten und das Zeitfenster können in den graphischen Darstellungen frei gewählt werden. Nach Anklicken der Einheitenachsen mit der linken Maustaste kann eine Autoskalierung oder eine Formatierung durchgeführt werden. Die Zeitachse kann durch ziehen über den gewünschten Ausschnitt mit gedrückter linker Maustaste gezoomt werden. Durch Anklicken der Fensters mit der rechten Maustaste kann über „undo zoom“ der Zoomvorgang wieder rückgängig gemacht werden.

Die absoluten und die delta-Werte (also die Änderungen der Werte seit Messbeginn) werden in zwei getrennten Registern dargestellt. In diesen Fenstern können die laufenden Änderungen am besten nachvollzogen werden. Durch die graphische Darstellung werden „Ausreißer“ leicht erkannt.

Bei der Darstellung der absoluten- und delta Messwerte werden nicht dir Sensorrohdaten verwendet, sondern es wird auch das gelöste O_2 und CO_2 im Bodenwasser eingerechnet. Dadurch wird die tatsächliche Änderung des O_2, CO_2 bzw. des Druck deutlicher dargestellt.



Das Register „freier Sensor“ wird normalerweise nicht benötigt. Es ist für einen eventuellen zusätzlichen Sensor vorgesehen.

Im Register „berechnete Werte“ werden die laufend berechneten Umsatzraten graphisch dargestellt. Bitte beachten Sie, daß diese Raten auf den zum Teil noch

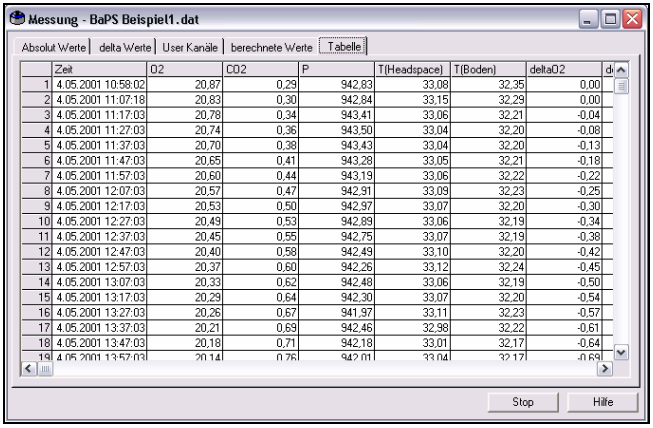
vorläufigen Angaben beruhen (z.B. Wassergehalt der Bodenproben). Diese Raten schwanken am Anfang stark und werden mit der Zeit immer stabiler.

TIP **Auch die Stabilität der Ratenberechnung kann als Information herangezogen werden, wann es sinnvoll ist eine Messung zu beenden.** **TIP**

6.6.2.1 Tabellarische Darstellung

Im letzten Register werden alle Werte in tabellarischer Form dargestellt. Sie können sich in der Tabelle mit Hilfe der horizontalen und vertikalen Bildlaufleisten bewegen.

Gültige Werte werden während der Messung grün, ungültige rot dargestellt.



	Zeit	O2	CO2	P	T(Headspace)	T(Boden)	deltaO2
1	4.05.2001 10:58:02	20,87	0,29	942,83	33,08	32,35	0,00
2	4.05.2001 11:07:18	20,83	0,30	942,84	33,15	32,29	0,00
3	4.05.2001 11:17:03	20,78	0,34	943,41	33,06	32,21	-0,04
4	4.05.2001 11:27:03	20,74	0,36	943,50	33,04	32,20	-0,08
5	4.05.2001 11:37:03	20,70	0,38	943,43	33,04	32,20	-0,13
6	4.05.2001 11:47:03	20,65	0,41	943,28	33,05	32,21	-0,18
7	4.05.2001 11:57:03	20,60	0,44	943,19	33,06	32,22	-0,22
8	4.05.2001 12:07:03	20,57	0,47	942,91	33,09	32,23	-0,25
9	4.05.2001 12:17:03	20,53	0,50	942,97	33,07	32,20	-0,30
10	4.05.2001 12:27:03	20,49	0,53	942,89	33,06	32,19	-0,34
11	4.05.2001 12:37:03	20,45	0,55	942,75	33,07	32,19	-0,38
12	4.05.2001 12:47:03	20,40	0,58	942,49	33,10	32,20	-0,42
13	4.05.2001 12:57:03	20,37	0,60	942,26	33,12	32,24	-0,45
14	4.05.2001 13:07:03	20,33	0,62	942,48	33,06	32,19	-0,50
15	4.05.2001 13:17:03	20,29	0,64	942,30	33,07	32,20	-0,54
16	4.05.2001 13:27:03	20,26	0,67	941,97	33,11	32,23	-0,57
17	4.05.2001 13:37:03	20,21	0,69	942,46	32,98	32,22	-0,61
18	4.05.2001 13:47:03	20,18	0,71	942,18	33,01	32,17	-0,64
19	4.05.2001 13:57:03	20,14	0,76	942,01	33,04	32,17	-0,69

Alle in der Tabelle dargestellten Werte werden in das Meßprotokoll übernommen.

6.6.3 Ende der Messung

Die Messung kann von Hand beendet werden, wenn die Daten ausreichend sind, oder automatisch bei Erreichen der vor der Messung eingegebenen Bedingungen.

Die manuelle Beendigung erfolgt entweder vom Menü „Messen Beenden“ aus, oder vom Fenster „Konfiguration“ aus mit dem

Beenden-Button

,

oder von der Symbolleiste mit dem

Beenden-Symbol .

Sind Abbruchbedingungen aktiviert worden, fragt das Programm bei deren Erreichen automatisch nach, ob die Messung beendet werden soll.

Grundsätzlich muss das Beenden in einem Dialogfeld bestätigt werden. Diese Sicherheitsabfrage soll die Gefahr ungewünschten Beendens minimieren. Bei Erreichen von Schwellenwerten soll dem Anwender dadurch die Möglichkeit gegeben werden, die Daten vor dem Beenden zu überprüfen.

Nach Ende der Messung öffnet sich selbständig das Auswertefenster.

Grundsätzlich können alle Daten der Messung und der Konfiguration noch im Nachhinein angepasst werden. Dazu muss nur die Messdatei aufgerufen werden, wobei sich automatisch die zugehörigen Konfigurations- und Messfenster öffnen.

Nach der Messung ist unbedingt der Sensorkopf abzunehmen, um Kondensation an den Sensoren zu vermeiden. Der Sensorkopf und die Inkubationskammer sollten trocken, ohne Bodenproben gelagert werden.

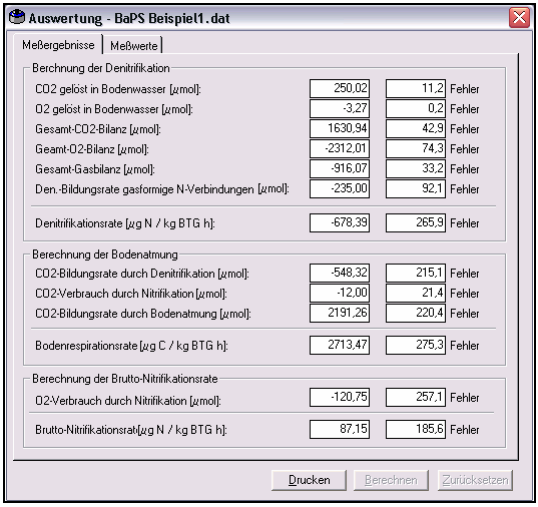
6.6.4 Auswertefenster

Im Auswertefenster kann die Berechnung der Umsatzraten nachvollzogen und die für die Messung herangezogenen Messwerte ausgewählt werden. Hierfür stehen zwei Verfahren zur Verfügungen (siehe auch Kapitel 5.4.3 Das Auswertefenster).

Die „Auswertung mittels delta Werte“ bildet die Differenz zwei Messwerte für die Bestimmung der Änderung des Drucks, der Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration.

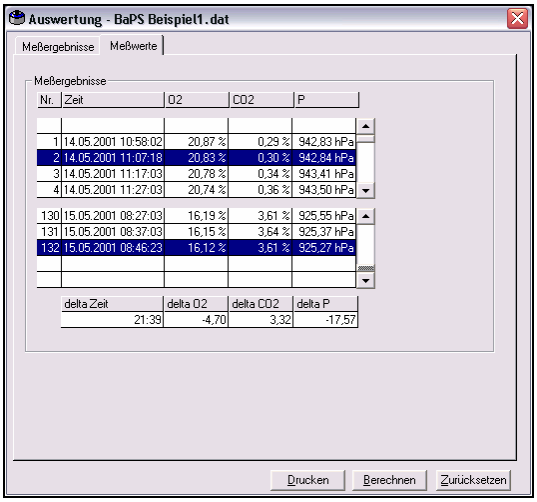
Bei der „Auswertung mittels Regression“ erfolgt die Bestimmung der Änderung über die Bestimmung der Steigung von Regressionsgeraden der Messwerte.

6.6.4.1 Auswertung mittels delta Werte



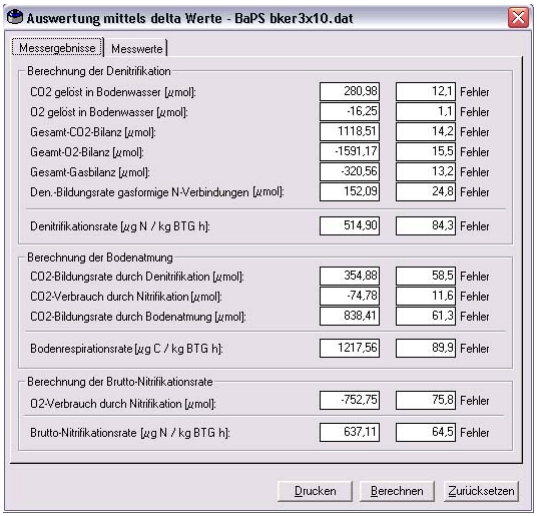
Als Defaultmesswerte werden die ersten gültigen und die letzten Messwert herangezogen.

Im Register „Messwerte“ könne die zur Berechnung verwendeten Messwerte über eine Bildlaufleiste ausgewählt werden.



Um die Berechnung der Umsatzraten durchzuführen, klicken sie den „Berechnen“ Button an. Nun werden alle Daten aktualisiert. Über den „Zurücksetzen“ Button können alle Änderungen rückgängig gemachten werden.

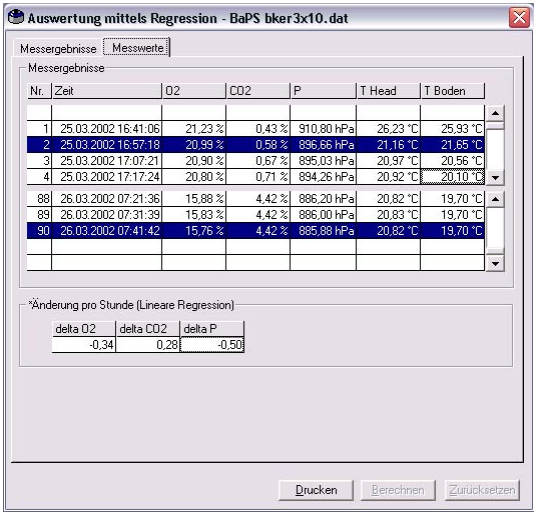
6.6.4.2 Auswertung mittels Regression



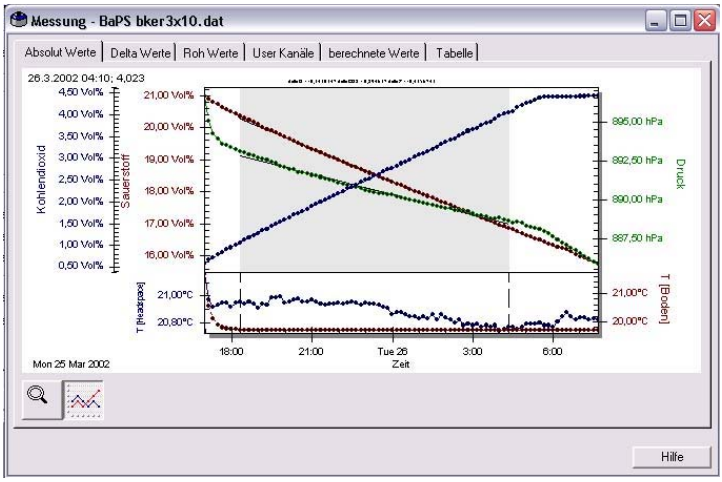
Als Defaultmesswertebereich werden die ersten gültigen und die letzten Messwert herangezogen.

Im Fenster „Auswertung mittels Regression“ Register „Messwerte“ und im Fenster „Messung“ Register „Absolut Werte“, „Delta Werte“ oder „Roh Werte“ die zur Berechnung verwendeten Messwerte ausgewählt werden.

Im Fenster „Auswertung mittels Regression“ Register „Messwerte“ könne die zur Berechnung verwendeten Messwerte über eine Bildlaufleiste ausgewählt werden.



Im Fenster „Messung“ Register „Absolut Werte“, „Delta Werte“ oder „Roh Werte“ kann der Messbereich durch Anklicken der Fenster mit der rechten Maustaste bzw. mit der rechten Maustaste in Kombination mit der Alt Taste. Zuvor muss jedoch die Zoom Funktion Abgeschalten und die Auswahl Funktion Eingeschalten werden. Dazu klicken Sie auf Button im unteren Teil des Fensters. Nun kann der Anfang des Messbereiches durch Anklicken eines Messpunktes im Fenster mit der rechten Maustaste erfolgen. Das Ende des Messbereiches wird über das Anklicken eines Messpunktes mit der rechten Maustaste in Kombination mit der Alt Taste ermöglicht.



Der ausgewählte Messbereich wird grau hinterlegt.

Um die Berechnung der Umsatzraten durchzuführen, klicken sie den „Berechnen“ Button an. Nun werden alle Daten aktualisiert. Über den „Zurücksetzen“ Button können alle Änderungen rückgängig gemachten werden.

6.7 Bestimmung des Wassergehaltes der Bodenproben

Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, sollte der Wassergehalt der Bodenproben nachträglich gravimetrisch bestimmt werden.

Das Gewicht des feuchten Bodens wurde bereits am Anfang der Messung eingetragen. Trocknen Sie nun den Boden im Trockenschrank (24 Stunden bei 105 °C) [HAR 1992]. Den Wert des Trockengewichtes können Sie anschließend im Fenster „BaPS - Konfiguration“ eintragen.

Die Auswertung, wenn „Berechnen“ angeklickt wird, erfolgt immer mit den aktuellen Daten.

6.8 Dokumentation, Weiterverarbeitung der Daten

Der Weiterverarbeitung der Daten in anderen Anwendungen und der Messdokumentation kommt beim BaPS eine hohe Bedeutung zu.

6.8.1 Messprotokoll

Sie können für jede Messung direkt von der BaPS-Software aus ein Messprotokoll drucken. Dieses beinhaltet die wichtigsten Daten und alle Ergebnisse.

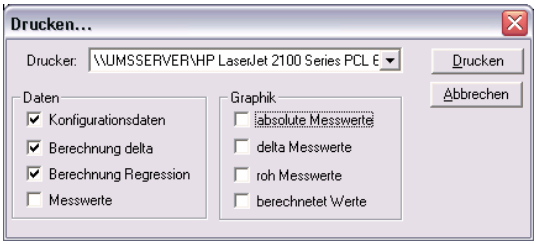
Der Druckbefehl wird von der Symbolleiste aus gestartet. Klicken Sie dazu das Druck-Symbol an.

6.8.2 Drucken der Ergebnisse

Das Druckermenü erreichen sie vom Menü „Auswerten ➔Drucken“ aus, oder vom Fenster „Auswertung“ aus mit dem Drucken-Button Drucken,

oder von der Symbolleiste mit dem

Drucken-Symbol .



Die in diesem Fenster ausgewählten Optionen definieren, welche Daten und Graphiken ausgedruckt werden.

Folgende Optionen stehen ihnen zur Verfügung:

Konfigurationsdaten – Druckt die aktuellen Konfigurationsdaten

Berechnung delta – Druckt die Ergebnisse der Berechung mittels delta Werten

Berechnung Regression – Druckt die Ergebnisse der Berechung mittels Regression

Messwerte – Druckt alle Messwert mit Zeitstempel

absolute, delta, berechnete Messwerte – Druckt die jeweils ausgewählten Graphiken

6.8.3 Importieren in andere Anwendungen

Die BaPS-Software erstellt bei jeder Messung eine Meß-Datei. Diese wird unter einem von Ihnen vorgegebenen Namen abgespeichert.

Bitte ändern Sie in dieser Original-Datei niemals Daten ab, da sie sonst nicht mehr von der BaPS Software aus bearbeitet werden kann.

In dieser Datei sind alle Vorgaben, Messdaten und Ergebnisse gespeichert. Das Format der Datenablage ist so gewählt, dass die Daten problemlos in andere Anwendungen übernommen werden können.

- ASCII Zeichensatz
- Trennzeichen: Semikolon

Bodensäulen
Volumen, Fehler,
Fläche, Fehler
Temperaturschwankung
Boden, Headspace, Zeit
Bodenwasserbestimmung
Wassergehalt, Fehler,
Bodengewicht feucht, Fehler,
Bodengewicht trocken, Fehler
sonstige Parameter
pH-Wert, Fehler,
Spritzenvolumen, Fehler,
Messintervall
Schwellwerte
eine Bedingung
O2, CO2, P,
Zwei Bedingungen
O2, CO2, P
Standardabweichung
Nitrifikation,
Denitrifikation,
Bodenatmung
Zeit
Abbruchzeit
Spezielle Parameter
N_2O, N_2, NxOy-Koeffizient, Fehler NxOy-Koeff.,
autotrophe Nitrifikation, heterotrophe Nitrifikation, aut/het-Koeffizient, Fehler aut/het-Koeffizient,
Respirationskoeffizient, Fehler Respirationskoeffizient,
Fehler DCO_2 Henry, Fehler DO_2 Henry

Die Konfigurationsdaten werden nur in numerischer Form wiedergegeben. Die einzelnen Werte repräsentieren dabei jeweils folgenden Parameter:

Für nicht eingetragene oder nicht vorhandene Werte steht eine Null. Im Anschluss werden die Messdaten aufgelistet und darunter die Ergebnisse.

6.8.4 Berechnung mit Hilfe der Excel® Datei

Um eine einfache Nachvollziehbarkeit der BaPS Berechnungen zu ermöglichen wird eine Excel-Tabelle zur Verfügungen gestellt. Anhand einer Excel® Tabelle könne die einzelnen Rechenschritte und die gesamte Berechnung nachvollzogen und gegebenenfalls angepasst werden. Die Excel® Datei finden sie auf der BaPS Software im Verzeichnis Excel.

7 Wartung und Service

7.1 Reinigung der Kammer

Reinigen Sie die Messkammer nur mit Wasser oder bei stärkeren Verschmutzungen mit einem mit Ethanol getränkten Tuch.

Die Sensoren im Sensorkopf dürfen nicht nass werden. Reinigen Sie den geöffneten Sensordeckel auf der Sensorseite nur mit einem feuchten Tuch.

7.2 Dichtigkeitstest

Zusätzlich zu dem, bei jeder BaPS-Messung durchgeführten, 10 min dauernden Dichtigkeitstest kann ein sorgfältiger Test durchgeführt werden. Dieser kann auch kleine Lecks erkennen (z.B. an den Sensordichtungen). Dabei wird dem BaPS ohne Bodenproben Gas entzogen und über einen möglichst langen Zeitraum der Druck gemessen. Dieser darf sich nach Temperaturkompensation des Druckmesswertes nicht ändern. Das BaPS sollte dazu ebenfalls temperiert werden, um Temperaturschwankungen klein zu halten.

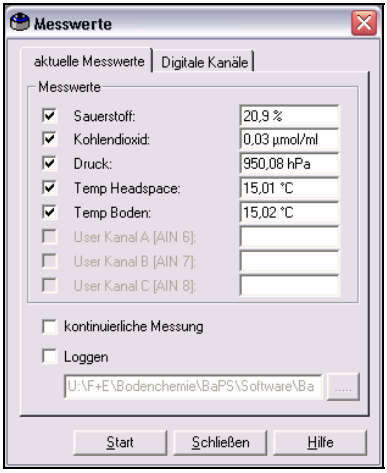
Durchgeführt werden sollte dieser Test etwa alle 3 bis 6 Monate oder bei einem Verdacht auf defekte Dichtungen.

Hierfür können sie die Funktion die Loggfunktion im Fenster „aktuelle Messwerte“ verwenden (siehe Kapitel 7.3 Online Abfrage der Sensoren). Bei kleinen Temperaturschwankungen (< 0,1 °C) können die beiden ermittelten Druckwerte direkt miteinander verglichen werden. Die Zunahme des Druckwertes sollte nicht größer als 0,1 hPa pro Stunde betragen. Ansonsten sollte das Septum und alle Dichtungen ausgetauscht werden (siehe Kapitel Ersatzteile und Zubehör).

7.3 Online Abfrage der Sensoren

Zur Überprüfung der Sensoren können auch ohne BaPS-Messung die Sensorwerte abgefragt werden.

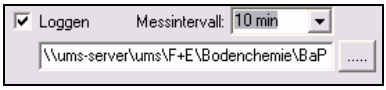
Klicken Sie dazu in der Menüleiste auf „Optionen aktuelle Messwerte“.



Es öffnet sich das Messwertefenster. Aktualisieren Sie die Messdaten durch anklicken von „Start“. Das Sensorinterface muss dazu eingeschaltet und mit dem Messkopf und dem Computer verbunden sein.

Bitte warten Sie die Aktualisierung der Messwerte immer ab, bevor Sie erneut „Start“ anklicken. Die Messwerte könne auch kontinuierliche automatisch aktualisiert werden. Hiefür wählen Sie im Register aktuelle Messwerte die Option „kontinuierliche Messung“ aus und klicken auf den „Start-Button“. Die kontinuierliche Messung kann über den „Stop-Button“ wieder beendet werden. Die anzuzeigenden Sensoren können über Kontrollkästchen ausgewählt werden.

Die Messdaten können darüber hinaus kontinuierlich in eine ASCII Datei geschrieben werden. Dazu wählen Sie die Option Loggen aus.



Im nun erscheinendem Pull Up Menü kann der Messintervall vorgeben werden. Über dem „… - Button“ können sie den Dateiname und das Verzeichnis der Logg-Datei auswählen. Die Messung wird über den „Start-Button“ gestartet und über den „Stop-Button“ beenden.

Das Format der Logg-Datei ist so gewählt, dass die Daten problemlos in andere Anwendungen übernommen werden können.

7.4 Kalibration der Sensoren

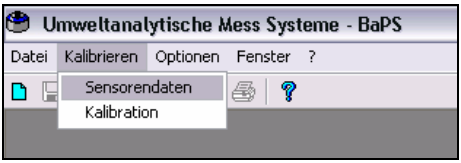
Eine Sensorkalibration sollte grundsätzlich nur von einem Fachmann ausgeführt werden. UMS bietet hierzu einen Komplett-Service an, der jährlich durchgeführt werden sollte. Dabei werden der Druck-, der O_2- und der CO_2 -Sensor, sowie die interne Elektronik nachkalibriert und überprüft (siehe Kapitel Ersatzteile und Zubehör).

7.4.1 Kalibrationsdaten

Mit den Kalibrationsparametern werden die digitalen Sensordaten des BaPS Interface auf die physikalischen Einheiten abgeglichen. Bitte ändern Sie diese Parameter nur bei genauer Kenntnis der Zusammenhänge.

Die Kalibrationsdaten für Ihr BaPS sind in einer speziellen txt-Datei hinterlegt. Bei der Installation werden diese Daten übernommen.

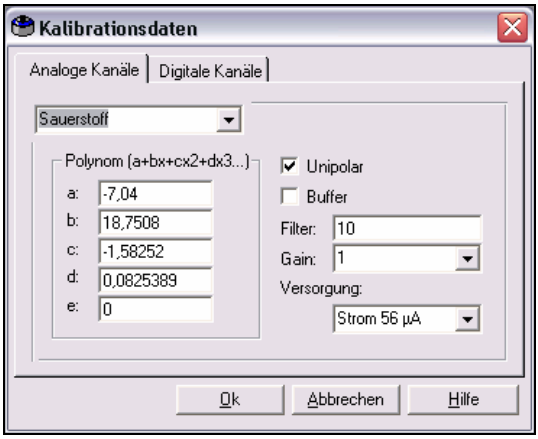
Sie können die Sensordaten über das Menü „Kalibrieren Sensordaten“ aufrufen.



7.4.1.1 Polynome

Die Sensorsignale werden durch Polynome, maximal bis zum Grad 4, in die physikalischen Werte umgerechnet.

Die Faktoren des Polynoms werden in der vorderen Spalte eingetragen.



7.4.1.2 Weitere Optionen

Unipolar

Unipolar bezeichnet die Art der Messwertaufnahme. Bei der Einstellung Unipolar beträgt der analoge Eingangsbereich bis zu 0 ... 2,5 V. Wird diese Einstellung zurückgesetzt (Häkchen entfernt), so erfolgt die Messwertaufnahme bipolar mit einem Eingangsbereich von bis zu -2,5 ... 2,5 V.

Buffer

Buffer bezeichnet einen analogen Zwischenverstärker. Wird dieser zugeschaltet erhöht sich die analoge Eingangsimpedanz. Dies dient für den Anschluß von Sensoren mit hochohmigem Signal.

Wird diese Option gewählt, so ändert sich der Common-Mode-Bereich von normal (ohne Buffer) -30 ... 3000mV auf +50 ... 3000mV. Damit kann der negative Eingang nicht direkt auf GND gelegt werden. Bei der Messung von

Widerständen (z.B. PT100) muß dann ein zusätzlicher interner Widerstand zwischen Ain und GND in Reihe geschaltet werden.

Filter

Filter bezeichnet die Glättung bei der Messwertaufnahme. Wird dieser Wert größer, so erfolgt die Messung in kürzerer Zeit. Dadurch werden jedoch die Messwertschwankungen größer. Dieser Wert sollte maximal auf 50 gesetzt werden, womit ein digitales FIR-Filter eingestellt wird. Dieses bezeichnet den „first notch“ in Hz.

Gain

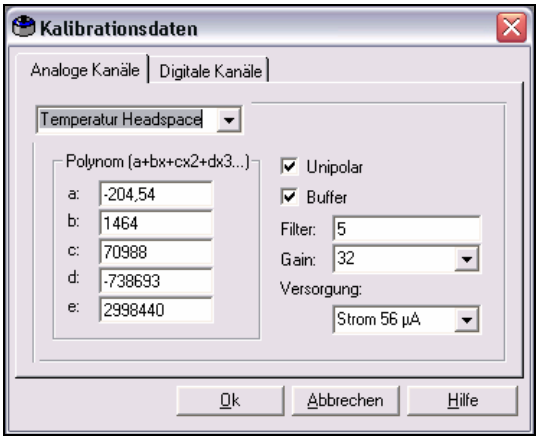
Gain bezeichnet die interne Verstärkung des Sensorinterface für das anliegende Signal. Dieses muss für die Standardsensoren vom Anwender niemals geändert werden. Eine Gainänderung verändert das Signal nicht, da sie von der internen Software rückgerechnet wird. Ein zu großes Gain hat jedoch ein Überschreiten des analogen Messbereichs zur Folge. Ein zu kleines Gain verringert die maximale Auflösung.

INFO Durch das Zuschalten des Buffers oder durch die Erhöhung des Gains können sich die elektronischen Spezifikationen verschlechtern. INFO

7.4.1.3 Temperatur

Als Temperatursensoren werden PT1000 eingesetzt. Diese haben bei 0°C einen Widerstand von 1000 Ohm. Dieser erhöht sich pro °C Zunahme um ca. 3,8 Ohm. Um dieses Signal auszuwerten wird der Sensor mit einem konstanten Strom von ca. 56 µA versorgt. Die abfallende Spannung (ca. 215,6 µV/°C) wird abgegriffen (siehe Anschlußbelegung Temperatursensor).

Die optimalen Kalibrationsdaten werden im Bild dargestellt.

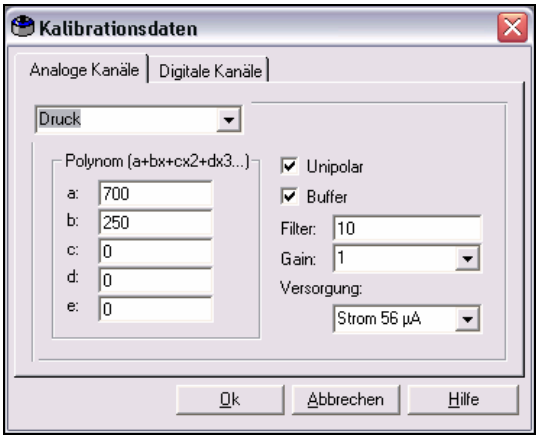


Bedingt durch das kleine Signal wird hier ein größeres Gain eingestellt.

7.4.1.4 Druck

Der Drucksensor liefert ein 4...20mA Signal, das über einen 100Ohm Shuntwiderstand abgegriffen wird.

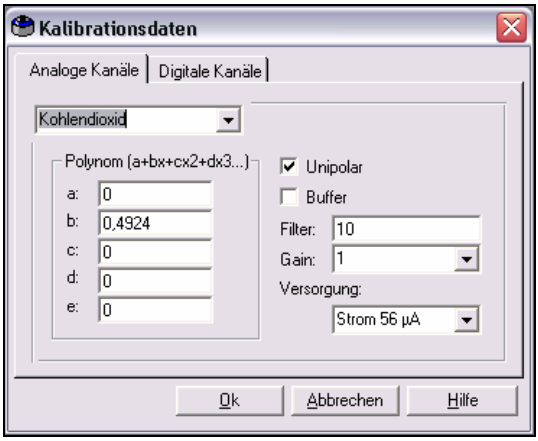
Das Signal beträgt dementsprechend 400 ... 2000mV für den Bereich 800 ... 1200hPa. Die optimale Konfiguration ist im Bild dargestellt. Je nach Drucksensor können diese Daten etwas variieren.



7.4.1.5 Kohlendioxid

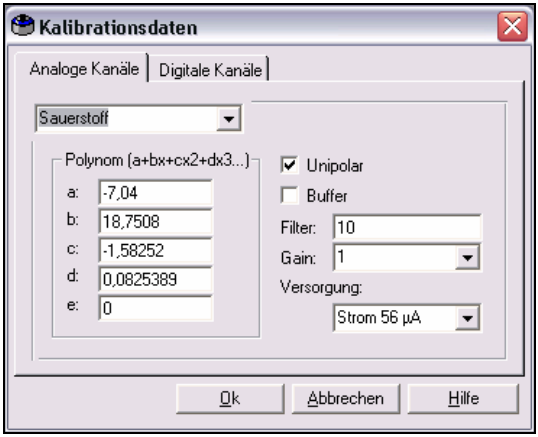
Der CO_2 -Sensor liefert ein 0...2,5 V Signal für den Bereich 0...3 Vol%.

Die optimale Konfiguration ist im Bild dargestellt.

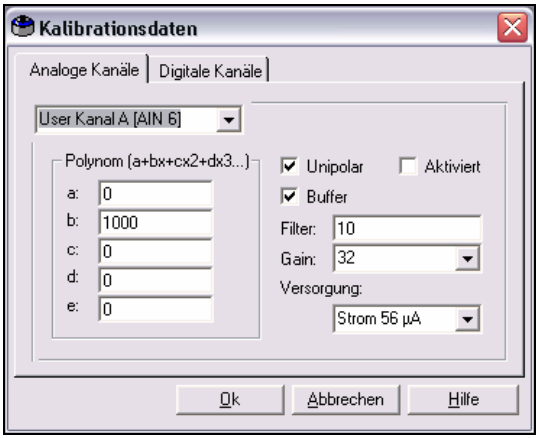


7.4.1.6 Sauerstoff

Der O_2 -Sensor liefert ein 4...20 mA Signal. Dieses ist nichtlinear und für jeden Sensor spezifisch. Deshalb wird hier eine typische Konfiguration angegeben, die sich von der in Ihrem Programm geringfügig unterscheiden kann.



7.4.1.7 User Kanäle



Es können an das BaPS Sensorinterface noch bis zu drei zusätzliche Sensoren angeschlossen werden (siehe auch Kapitel 4.3 BaPS Sensorinterface). Die Messwerte dieser Sensoren können ebenfalls mit Hilfe der BaPS Software erfasst werden. Hierzu muss die Option Aktiviert ausgewählt und die Kalibrationsparametern auf die physikalischen Einheiten abgeglichen werden. Um eine einwandfreie Funktion der Sensoren sicherzustellen, sollten sie sich hiefür direkt an die Firma UMS wenden.

Ein unsachgemäßes anschließen von Sensoren kann zu einer Beschädigung des BaPS Sensorinterface führen. Dies sollte grundsätzlich nur von einem Fachmann ausgeführt werden. UMS bietet ihnen einen Komplett-Service an.

7.4.2 Digitale Kanäle

Die digitalen Kanäle werden vom BaPS momentan nicht genutzt. Deshalb wird auf eine Beschreibung an dieser Stelle verzichtet.

8 Theorie zu BaPS

8.1 Nitrifikation und Denitrifikation im Boden

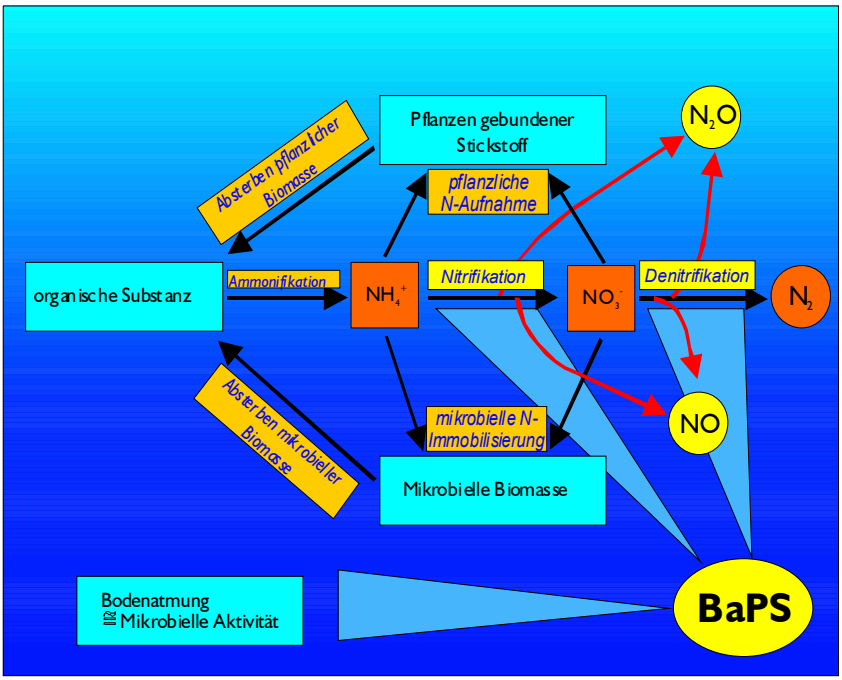


Bild: Der Kreislauf von Stickstoff in terrestrischen Ökosystemen und Definitionen der im Zusammenhang mit N-Umsetzungen verwandten Begriffe

Unter Nitrifikation versteht man die Oxidation von Ammoniak [NH_3], das im Boden im Gleichgewicht mit Ammonium [NH_4^+] steht, zu Nitrat [NO_3^-]. Bei diesem Prozess wird im ersten Schritt unter Bildung von Hydroxylamin [H_2NOH] molekularer Sauerstoff durch das Enzym Ammoniak-Monooxygenase auf Ammoniak übertragen. Ein weiterer Zwischenschritt der Nitrifikation ist die Oxidation von Hydroxylamin zu Nitrit [NO_2^-], das dann in einem weiteren Schritt zum Endprodukt der Nitrifikation, dem Nitrat oxidiert wird. Unter Denitrifikation wird die Reduktion von NO_3^- unter anaeroben Bedingungen verstanden, wobei

nacheinander zunehmend reduziertere N-Verbindungen bis hin zum molekularen Distickstoff [N_2] entstehen können (Nitrat ➜ Nitrit ➜ NO ➜ N_2O ➜ N_2).

8.1.1 Bisher angewandte Meßmethoden

Nitrifikation und Denitrifikation sind von zentraler Bedeutung für den N-Kreislauf in Böden (siehe auch Abb.1). Der Nitrifikation kommt insofern eine zentrale Rolle zu, weil sie der einzig quantitativ bedeutsame Prozeß der Nitrat-Produktion im Boden ist.

Obwohl die Nitrifikation der wichtigste Regelfaktor der Nitrat-Nachlieferung im Boden ist, steht bisher nur eine apparativ und personell sehr aufwendige Methode zur Bestimmung von **Brutto**-Nitrifikationsraten im Boden zur Verfügung - die unten beschriebene ^{15}N-pool dilution Technik. Die Kenntnis der Brutto-Raten ist zwingend notwendig, wenn Aussagen über tatsächliche Umsetzungsprozesse gemacht werden sollen. Bei der Messung der Netto-Rate ist keine Aussage über die einzelnen Prozesse möglich.

8.1.2 ^{15}N-pool dilution Technik

Diese Methode beruht auf der Einbringung von ^{15}N markiertem Nitrat in den Boden und dem anschließenden Nachweis der zeitabhängigen graduellen Verdünnung des ^{15}Nitrat-Pools aufgrund der Nachlieferung von Nitrat über Nitrifikation (^{15}N pool dilution technique) [MOS 1993; DAV 1992]. Aufgrund des Einsatzes von ^{15}N und des erforderlichen Nachweises von ^{15}N mit einem Massenspektrometer ist dieses Verfahren sehr teuer (Gerätekosten, Kauf der markierten Substanzen, erforderliche Replikation der Versuche, Aufarbeiten der Proben). Zudem sind im Zusammenhang mit der ^{15}N-Technik folgende Probleme zu bedenken:

1. Eine Homogenisierung des Bodens ist zur Erreichung einer gleichmäßigen Substanzverteilung des gelabelten Nitrats im Boden anzustreben, wodurch das natürliche Bodenaggregatgefüge zerstört wird.
2. Zugabe von ^{15}Nitrat kann zu einer Stimulierung der mikrobiellen N-Umsetzungsprozesse führen. Zur Vermeidung dieses Problems wird empfohlen, die ^{15}N-Versuche innerhalb von zwei Tagen abzuschließen.

8.1.3 Bestimmung der Netto-Rate

Aufgrund des hohen Aufwandes wird in vielen Untersuchungen, die sich mit dem N-Kreislauf in Böden beschäftigen, nicht die eigentlich relevante Brutto-Nitrifikationsrate, sondern die einfacher zu bestimmende Netto-Nitrifikationsrate gemessen [ROW 1997]. Die Netto-Nitrifikation beschreibt die Dynamik der Änderung des Nitrat-Pools im Boden. Die Netto-Nitrifikation lässt daher keinen Rückschluß auf die Brutto-Nitrifikation (d.h. quantitative Umsetzung von NH_4^+ über Nitrifikation zu NO_3^-) zu und stellt daher im Grunde nur eine Notlösung dar.

Bei der Bestimmung von Netto-Nitrifikationsraten wird typischerweise wurzelfreier Boden einem Untersuchungsstandort entnommen (d.h. u.a. Ausschluß der Ammonium- und Nitrat-Aufnahme über die Pflanzenwurzeln, aber unter Verbleib der Aktivitäten der Denitrifikation und mikrobiellen N-Immobilisierung) und der Boden im Freiland in einem Beutel vergraben und inkubiert (üblicherweise für mehr als einen Monat). Aus der Pool-Größe von NO_3^- am Anfang der Inkubation und am Ende der Inkubation wird die Netto-Nitrifikation errechnet ($P_{NO3(t=1)} - P_{NO3(t=0)}$ = Netto-Nitrifikation bezogen auf das Trockengewicht des Bodens).

8.1.4 Inhibitionstechniken

Im Zusammenhang mit der Bildung und Emission von primär [N_2O] und sekundär [NO] klimarelevanten N-Spurengasen in Böden, die beide sowohl bei der Nitrifikation wie auch bei der Denitrifikation gebildet werden, werden Inhibitionstechniken angewandt. Damit wird der Prozeß, der für die Bildung dieser Spurengase verantwortlich ist, d.h. Nitrifikation oder Denitrifikation, identifiziert.

Der am häufigsten angewandte Inhibitor ist Azetylen. Azetylen hemmt in geringer Konzentration [10 Pa] die Nitrifikation. Wird an Bodenproben vor Inhibierung und nach Inhibierung die N_2O bzw. NO-Emission bestimmt, so läßt sich über Differenzbildung herausfinden, zu welchem Anteil Nitrifikation bzw. Denitrifikation zur aktuellen Emission beigetragen haben. Diese Methode ist insgesamt jedoch kritisch zu beurteilen, da:

1. Einzelne Gruppen von Nitrifizierern eventuell unempfindlich gegenüber dem Inhibitor sind.

2. Die Verteilung von Azetylen in der Bodenprobe ein Problem darstellen kann (unvollständige Inhibierung).
3. Andere, nicht identifizierte Prozesse zusätzlich zur N_2O- und NO-Bildung beitragen können, die bei der beschriebenen Vorgehensweise der Denitrifikation zugeschrieben werden.

Zur Quantifizierung der Denitrifikation in Böden wird neben der ^{15}N-Technik auch die Azetylenblockierungsmethode eingesetzt. Dieses Verfahren beruht darauf, daß das letzte Enzym innerhalb der Denitrifikationskette von Nitrat zum molekularen Stickstoff durch 10 Vol% Azetylen gehemmt wird. Wie neuere Untersuchungen jedoch gezeigt haben, setzt sich in Gegenwart von Luftsauerstoff bei solch hohen Konzentrationen von Azetylen NO mit O_2 zu NO_2 um, das anschließend zu Nitrat und Nitrit disproportioniert. Dieser Schritt ist nicht quantifizierbar. Dies bedeutet, daß nach Aufdeckung dieses Prozesses durch Bollmann & Conrad [BOL 1997] sowie McKenney & Drury (1997) dieses Standardverfahren zur Bestimmung der Denitrifikationsverluste nicht mehr angewandt werden kann.

8.2 BaPS

Bei dem am IFU entwickelten Verfahren der barometrischen Prozeßseparation wird ein völlig anderer Lösungsweg zur Bestimmung der Brutto-Nitrifikation im Boden beschritten, das den enormen Vorteil bietet, daß weder ^{15}N-Verbindungen appliziert noch gasförmige Inhibitoren eingesetzt werden müssen.

8.3 Bestimmbare Parameter

Die barometrische Prozeß-Separation [ING 1999] erlaubt es, aus der beobachteten Druckänderung, sowie der Erstellung einer O_2- und CO_2-Bilanz an einer intakten, isothermal inkubierten, oxischen Bodensäule, die gegenüber der Umgebung gas- und druckdicht abgeschlossen ist, folgende Parameter zu bestimmen:

- Die aktuellen Denitrifikations-, Nitrifikations- und Bodenatmungs-Raten.
- Den dominierenden mikrobiellen Prozeß (Denitrifikation bzw. Nitrifikation) in einem Boden zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Unter Berücksichtigung ergänzender Untersuchungen den Anteil, zu welchem diese Prozesse an der beobachteten N_2O-Emission aus einem oxischen Boden beteiligt sind.

8.4 Beschreibung der Messmethode

In einem gas- und druckdichten System, in dem sich die Bodensäule (Bodenprobe) befindet, sind die folgenden mikrobiologischen Prozesse für eine Veränderung des Systemdruckes verantwortlich: Bodenatmung, Nitrifikation und Denitrifikation und das dynamische Gleichgewicht ($\Delta CO_{2aq}/\Delta t$) zwischen der CO_2-Konzentration im Gasraum $CO_2(g)$ und der CO_2-Konzentration in der wäßrigen Phase $CO_2(aq)$.

8.5 Einzelprozesse

Die Bodenatmung ist annähernd druckneutral, d. h. die Netto-Gasproduktion $\Delta n/\Delta t = 0$, da sich Sauerstoffverbrauch und CO_2-Produktion bei einem für oxische Böden charakteristischen respiratorischen Quotienten von 1,0 die Waage halten.

Die Nitrifikation führt zu einer Druckabnahme im System, da 0,5 Mol molekularer Sauerstoff pro Mol Ammonium verbraucht werden, aber kein Gas produziert wird.

Die Denitrifikation hingegen führt zu einer Druckzunahme im System, da kein Gas verbraucht, wohl aber bei vollständiger Reduktion von 4 Mol Nitrat zu 2 Mol molekularem Distickstoff neben dem N_2 zusätzlich 2,5 Mol CO_2 freigesetzt werden.

8.6 Relevante Gleichungen

Wird netto eine Druckabnahme beobachtet, so muss Nitrifikation im System überwiegen, wird hingegen eine Druckzunahme beobachtet, muss die Denitrifikation im System der dominierende Prozess sein. Die drei mikrobiologischen Prozesse lassen sich durch folgende Reaktionsgleichungen beschreiben:

a) Bodenatmung:

$$CH_2O + O_{2,Atm} \rightarrow CO_{2,Atm} + H_2O \text{ (Druckneutral)}$$

b) Nitrifikation:

$$NH_4^+ + 2O_{2,Nit} \rightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+ \text{ (Druckabnahme)}$$

c) Denitrifikation:

$$5CH_2O + 4NO_3^- + 4H^+ \rightarrow 5CO_{2,Den} + 7H_2O + 2N_2 \text{ (Druckzunahme)}$$

Parallel zur Messung des Druckes im System werden die CO_2- und O_2-Konzentrationen (optional N_2O-Konzentrationen) im Headspace über der Bodensäule erfasst.

Durch die Messung der Druckänderung im System lässt sich barometrisch für die 4 Prozesse (Bodenatmung, Nitrifikation, Denitrifikation und CO_2-Gleichgewichtskonzentration zwischen Gasphase und wässriger Phase) eine resultierende Gasbilanz $\Delta n/\Delta t$ [μmol h^{-1}] berechnen. Durch eine Kombination dieser Gasbilanz mit der O_2-Bilanz $\Delta O_2/\Delta t$ [μmol h^{-1}] und der CO_2-Bilanz $\Delta CO_2/\Delta t$ [μmol h^{-1}] des Systems lässt sich auf die Rate [μmol h^{-1}] der bei der Denitrifikation gebildeten gasförmigen Stickstoffverbindungen N_xO_y (N_xO_y = N_2, N_2O, NO) zurückschließen.

Wenn die Gesamtgasbilanz des Systems, die sich aus der Druckmessung ergibt, nicht aus der Sauerstoffbilanz und der CO_2-Bilanz erklärbar ist (Gesamtgasbilanz Berechnung delta – Druckt die Ergebnisse der Berechung mittels delta Werten Berechnung delta – Druckt die Ergebnisse der Berechung mittels delta Werten Sauerstoffbilanz plus CO_2-Bilanz), so kann diese Bilanzlücke nach den oben aufgeführten Überlegungen nur auf die bei der Denitrifikation gebildeten gasförmigen Stickstoffverbindungen (N_xO_y) zurückgeführt werden.

Diese Zusammenhänge können über das folgende Differenzengleichungssystem abgeleitet werden.

$$\left(\frac{\Delta n}{\Delta t}\right) = \frac{\Delta p\, V_{BS}}{R\, T\, \Delta t} = \left(\frac{\Delta CO_2}{\Delta t}\right)_{Den} + \left(\frac{\Delta N_x O_y}{\Delta t}\right)_{Den} + \left(\frac{O_2}{\Delta t}\right)_{Nit} - \left(\frac{\Delta CO_2}{\Delta t}\right)_{aq}$$

$$\left(\frac{\Delta CO_2}{\Delta t}\right) = \frac{V_{BS}}{R\, T\, \Delta t}\left[p(x)[CO_2]_{=x} - p(0)[CO_2]_{=0}\right] = \left(\frac{\Delta CO_2}{\Delta t}\right)_{Den} + \left(\frac{\Delta CO_2}{\Delta t}\right)_{Res} - \left(\frac{\Delta CO_2}{\Delta t}\right)_{aq}$$

$$\left(\frac{\Delta O_2}{\Delta t}\right) = \frac{V_{BS}}{R\, T\, \Delta t}\left[p(x)[O_2]_{=x} - p(0)[O_2]_{=0}\right] = \left(\frac{\Delta O_2}{\Delta t}\right)_{Res} + \left(\frac{\Delta O_2}{\Delta t}\right)_{Nit}$$

wobei:

V_{BS}= Gasvolumen der Bodensäule [cm^3]

R= universelle Gaskonstante [$J\ K^{-1}\ mol^{-1}$] (R=8.314 $J\ K^{-1}\ mol^{-1}$)

T= Temperatur [K]

p(x)= Luftdruck zum Zeitpunkt t=x [Pa]

Indices: Den: Denitrifikation; Nit: Nitrifikation; Res: Respiration; aq: wäßrige Phase

Durch sukzessives Auflösen und Substituieren erhält man die zentrale Gleichung:

$$\left(\frac{\Delta N_x O_y}{\Delta t}\right) = \left(\frac{\Delta n}{\Delta t}\right) - \left(\frac{\Delta CO_2}{\Delta t}\right) - \left(\frac{\Delta O_2}{\Delta t}\right)$$

N_xO_y [μmol h^{-1}] ist demnach die Differenz aus Gasbilanz [μmol h^{-1}], CO_2-Bilanz [μmol h^{-1}] und O_2-Bilanz [μmol h^{-1}]. Über eine inverse Bilanz können schrittweise die Bodenatmung und die Nitrifikation quantifiziert werden.

9 Berechnung

9.1 Beschreibung der verwendeten Algorithmen

Grundsätzlich werden alle Messwerte temperaturkompensiert.

9.1.1 Grundlegende Gleichungen

Grundlage für die Messung der Stickstoff- und Kohlenstoffumsatzraten sind folgende drei Gleichungen. Dabei werden an dieser Stelle nicht die chemisch vollständigen Gleichungen angegeben, sondern nur diejenigen Anteile, die gasförmig sind oder N bzw. C enthalten.

Bodenatmung

$$O_2 \rightarrow RK \cdot CO_2$$

Nitrifikation

$$Y \cdot CO_2 + 7{,}3 \cdot O_2 \rightarrow 3{,}65 \cdot NO_3$$

Denitrifikation

$$2 \cdot NO_3 \rightarrow X \cdot CO_2 + [NO \text{ oder } N_2O \text{ oder } N_2]$$

Dabei beträgt der Respiratorische Koeffizient RK in etwa 1, Y liegt zwischen 0 und 1 und X zwischen 2 und 2,5.

9.1.2 Berechnung der Gas-Umsatzraten aus den Meßwerten

9.1.2.1 Headspacevolumen

Aus der idealen Gasgleichung pV = nRT erhält man bei Volumenvergrößerung durch die Spritze das Headspacevolumen:

$$V_{head} = \frac{V_{sp} \cdot p_{Eh}}{p_{Ah} - p_{Eh}}$$

9.1.2.2 Wasservolumen

Das Wasservolumen kann entweder mit Hilfe des Wassergehaltes und dem Bodensäulenvolumen berechnet werden

$$V_{aq} = \frac{V_{bs} \cdot WG}{100}$$

oder mit Hilfe der Masse des enthaltenen Wassers aus

$$M_{aq} = M_{Bod,f} - M_{Bod,t}$$

wobei gilt

$$V_{aq} = M_{aq}$$

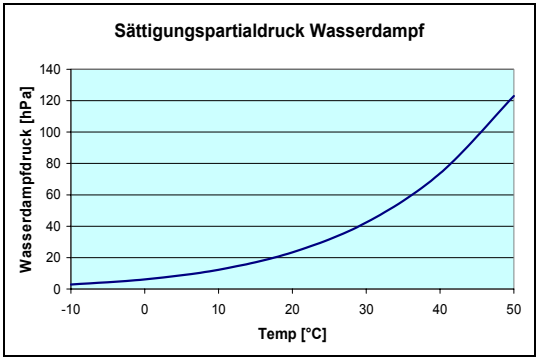
mit V_{aq} in ml und M_{aq} in g.

9.1.2.3 Gesättigter Wasserdampfdruck

Im abgeschlossenen BaPS herrschen durch das Wasserreservoir im Boden immer praktisch 100% relative Luftfeuchte. Dieser Partialdruck ändert sich mit der Temperatur, da der gesättigte Dampfdruck stark temperaturabhängig ist. Bei Temperaturdifferenzen zwischen Start und Ende der Messung muss diese Druckdifferenz zusätzlich zu der Änderung durch das ideale Gasgesetz berücksichtigt werden.

Tabelle des Sättigungspartialdruckes aus [LIL1984]

Temp. [°C]	**-10**	**0**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
P_{aq} [hPa]	**2,85**	**6,11**	**12,3**	**23,4**	**42,4**	**73,7**	**23**



Der Sättigungsdruck von Wasserdampf ist im Bild dargestellt. Diese Kurve wird durch folgendes Polynom angenähert:

$$p_{aq} = 5{,}295 \cdot 10^{-6} \cdot T^4 + 2.003 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 + 1{,}444 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 + 0{,}4536 \cdot T + 6{,}093$$

Für die Berechnung wird dieser Anteil vom Gesamtdruck subtrahiert und es wird mit mit dem Anteil „trockener" Luft weitergerechnet.

9.1.2.4 Gelöstes Kohlendioxid

Zur Erstellung der Gesamtbilanz für CO_2 wird der im Bodenwasser gelöste Anteil benötigt. Dabei wird der zu Beginn der Messung vorhandene Anteil von dem am Ende abgezogen.

Entscheidend für die Menge an gelöstem Gas in Wasser sind immer der Partialdruck, der pH Wert des Bodenwassers und die Temperatur.

Da die Löslichkeit des CO_2 u.a. vom pH Wert abhängt, benötigt man die Wasserstoffionenkonzentration. Die H^+ -Konzentration erhält man aus dem pH Wert des Bodenwassers:

$$npH = 10^{-pH} \cdot 1000$$

Um die Lösung vom CO_2 im Wasser zu berechnet, wird zunächst der Partialdruck aus der Konzentration bestimmt:

$$p_{CO_2} = CO_{2,konz} \cdot R \cdot (T + 273{,}15)/100$$

Die Temperaturabhängigkeit wird über die empirisch ermittelte Henrykonstante berechnet. Im BaPS wird dazu folgendes Näherungspolynom verwendet:

$$HK_{CO_2} = 3{,}09905 \cdot 10^{-5} \cdot (T + 273{,}15)^2 - 0{,}01931(T + 273{,}15) + 3{,}03553$$

Der Anteil an zusätzlich gelöstem CO_2 durch die Lösung von CO_2 im Wasser berechnet sich damit zu (Teilreaktion 1):

$$CO_{2,TR1,gel} = V_{aq} \cdot (HK_{CO_2}(t_2) \cdot p_{CO_2} \cdot (t_2) - HK_{CO_2}(t_1) \cdot p_{CO_2} \cdot (t_1))$$

Im Bodenwasser reagiert das gelöste $CO_{2,TR1,gel}$ zur Kohlensäure:

$$H_2CO_{2,TR2} = \frac{V_{aq} \cdot CO_{2,TR1,gel}}{660,7}$$

Die Kohlensäure dissoziiert in zwei Schritten:

Konvention:

$$H_2CO_{2,TR3}^{*} = H_2CO_{2,TR2} + CO_{2,TR1,gel}$$

Schritt 1

$$HCO_{3,TR3} = H_2CO_{3,TR3}^{*} \cdot 10^{-\frac{6,35}{npH}}$$

Schritt 2

$$CO_{3,TR3} = HCO_{3,TR3} \cdot 10^{-\frac{10,33}{npH}}$$

Berechung des Anteil an zusätzlichen CO_2 berechnet sich damit zu:

$$CO_{2,gel} = HCO_{3,TR3} + HCO_{3,TR3} + CO_{3,TR3}$$

9.1.2.5 Gelöster Sauerstoff

Den Partialdruck von O_2 erhält man aus den Vol% durch:

$$p_{O_2} = Vol\%_{O_2} \cdot p/100$$

mit der Henrykonstanten für O_2

$$HK_{O_2} = 6,9509 \cdot 10^{-7} \cdot (T + 273,15)^2 - 4,3304 \cdot 10^{-4} \cdot (T + 273,15) + 6,8576 \cdot 10^{-2}$$

erhält man für das gelöste O_2

$$CO_{2,gel} = V_{aq} \cdot \left(HK_{CO_2}(t_2) \cdot p_{CO_2}(t_2) - HK_{CO_2}(t_1) \cdot p_{CO_2}(t_1)\right)$$

Die Menge an gelöstem O_2 ist deutlich geringer als die an CO_2. Da der Sauerstoffpartialdruck bei einer BaPS-Messung üblicherweise abnimmt ist der Zahlenwert für $O_{2,gel}$ im Allgemeinen negativ.

9.1.2.6 Gaskonzentration

Für die Berechnung der Umsatzraten werden die Gaskonzentrationen benötigt, die sich für O_2 aus dem Vol%-Meßwert und dem Druck berechnen lassen.

$$Konz = \frac{Vol\% \cdot p}{R \cdot (T + 273{,}15)}$$

Der CO_2 -Sensor misst direkt die Konzentration.

9.1.2.7 Gas-Umsatzraten

Die CO_2 -Umsatzrate berechnet sich aus den Konzentrationen am Anfang und am Ende der Messung und aus dem Anteil an zusätzlich gelöstem CO_2 im Bodenwasser.

$$dCO_2 = V_{head}\left(Konz_{CO_2}(t_2) - Konz_{CO_2}(t_1)\right) + CO_{2,gel}$$

Die O_2 -Umsatzrate berechnet sich analog aus:

$$dO_2 = V_{head}\left(Konz_{O_2}(t_2) - Konz_{O_2}(t_1)\right) + O_{2,gel}$$

Die gesamte Gasumsatzrate, die sich in der Druckänderung des Systems widerspiegelt erhält man durch:

$$dn = \frac{100 \cdot V_{head}}{R} \cdot \left(\frac{p(t_2)}{T(t_2) + 273{,}15} - \frac{p(t_1)}{T(t_1) + 273{,}15}\right) + CO_{2,gel} + O_{2,gel}$$

wobei an dieser Stelle für den Druck der Gesamtdruck minus dem Wasserdampfdruck eingesetzt wird.

9.1.3 Denitrifikation

Im ersten Schritt wird die Denitrifikation berechnet. Hierbei wird ausgenutzt, dass der Überschuss der gesamten Gasumsatzrate allein auf die, aus der Denitrifikation

hervorgegangenen, Stickstoffverbindungen zurückzuführen ist. Dazu werden von der Gesamtrate der CO_2 - und der O_2 -Anteil abgezogen.

$$dNO = dn - dCO_2 - dO_2$$

Aus dieser Rate erhält man direkt die Denitrifikationsrate über:

$$k_{Den} = 2 \cdot \frac{dNO \cdot M_N}{(t_2 - t_1) \cdot M_{Bod,t}}$$

9.1.4 Bodenatmung

Die Berechnung der Bodenatmungsrate ist jetzt über die CO_2 -Bilanz möglich.

Dabei muss beachtet werden, dass bei der Denitrifikation CO_2 entsteht und von der autotrophen Nitrifikation CO_2 verbraucht wird.

Bei der Denitrifikation hängt die Zahl der entstandenen CO_2 -Moleküle vom Endprodukt ab.

- Für N_2 als Endprodukt entstehen 2,5 CO_2 -Moleküle
- Für N_2O als Endprodukt entstehen 2 CO_2 -Moleküle.

Die CO_2 -Bilanz der Denitrifikation berechnet sich zu:

$$dCO_{2,den} = X \cdot dNO$$

dabei erhält man den Faktor X aus:

$$X = 2{,}5 \cdot \frac{N_{2,den}}{N_{2,den} + N_2O_{den}} + 2\frac{N_2O_{den}}{N_{2,den} + N_2O_{den}}$$

Bei der autotrophen Nitrifikation wird außer dem O_2 auch CO_2 gebunden. Das stöchiometrische Verhältnis wird dabei durch folgende Gleichung wiedergegeben:

$$NH_3 + 1.68O_2 + 0{,}23CO_2 \rightarrow 0{,}05C_5H_7O_2N + 0{,}86H_2O + 0{,}95HNO_3$$

Das Verhältnis von O_2 zu CO_2 bei der Nitrifikation beträgt im rein autotrophen Fall damit:

$$dO_{2,nit} = 7{,}3dCO_{2,nit}$$

Damit kann der CO_2-Verbrauch aus der autotrophen Nitrifikation berechnet werden. Grundlage hierfür ist:

1. Die Bodenatmung trägt nicht zur Gesamtgasbilanz bei, da hierbei gleich viel O_2 verbraucht, wie CO_2 erzeugt wird (Dies gilt nur für einen Respirationskoeffizienten von 1).
2. Das Verhältnis zwischen autotropher und heterotropher Nitrifikation ist bekannt.

Dann kann der Anteil an verbrauchtem CO_2 bei der Nitrifikation durch Abzug der Anteile der Denitrifikation berechnet werden:

$$dCO_{2,nit} = Y \cdot \frac{1}{8,3} \cdot \left(dn - dCO_{2,den} - dNO\right)$$

mit

$$Y = \frac{NIT_{aut}}{NIT_{aut} + NIT_{het}}$$

Damit wiederum ist die Berechnung des CO_2 -Umsatzes bei der Bodenatmung möglich:

$$dCO_{2,res} = dCO_2 - dCO_{2,nit} - dCO_{2,den}$$

Die Bodenatmungsrate beträgt damit:

$$k_{res} = dCO_{2,res} \cdot \frac{M_{CO_2}}{(t_2 - t_1) \cdot M_{Bod,t}}$$

9.1.5 Nitrifikationsrate

Zur Berechnung der Nitrifikationsrate wird der Sauerstoffumsatz der Nitrifikation benötigt. Dazu muss zuerst der Sauerstoffumsatz der Bodenatmung berechnet werden:

$$dCO_{2,res} = -RK \cdot dO_{2,res}$$

Den Sauerstoffumsatz der Nitrifikation erhält man damit durch:

$$dO_{2,nit} = dO_2 - \frac{dCO_{2,res}}{RK}$$

Die Nitrifikationsrate beträgt dann:

$$k_{nit} = -\frac{1}{2} \cdot dO_{2,nit} \cdot \frac{M_N}{(t_2 - t_1) \cdot M_{Bod,t}}$$

9.1.6 In den Formeln verwendete Abkürzungen

9.1.6.1 Variablenverzeichnis

$CO_{2,gel}$	µmol	zusätzlich im Wasser gelöstes CO_2 (zwischen Anfang und Ende der Messung)
dCO_2	µmol	Gesamte CO_2 Umsatzrate
$dCO_{2,den}$		CO_2 -Umsatz der Denitrifikation
$dCO_{2,nit}$		= CO_2 -Umsatz der Nitrifikation
$dCO_{2,res}$		CO_2 -Umsatz der Bodenatmung
dn	µmol	Gesamte Gasumsatzrate
dNO	µmol	Umsatzrate der gasförmigen Stickstoffverbindungen bei der Denitrifikation (N_2, N_2O, NO)
$dCO_{2,nit}$		CO_2 -Umsatz der Nitrifikation
$dCO_{2,res}$		CO_2 -Umsatz der Bodenatmung
dn	µmol	Gesamte Gasumsatzrate
dNO	µmol	Umsatzrate der gasförmigen Stickstoffverbindungen bei der Denitrifikation (N_2, N_2O, NO)
dO_2	µmol	Gesamte Sauerstoffumsatzrate
$dO_{2,nit}$	µmol	Sauerstoffumsatzrate bei der Nitrifikation
$dO_{2,res}$	µmol	Sauerstoffumsatzrate bei der Bodenatmung
dp_{Ah}	hPa	Druckänderung am Anfang der Headspacemessung
dp_{Eh}	hPa	Druckänderung am Ende der Headspacemessung
HK_{CO2}		Henrykonstante für CO_2
HK_{O2}		Henrykonstante für O_2
k_{den}	mg Nitrat-N / h	Denitrifikationsrate
k_{nit}	mg Ammonium-N / h	Nitrifikationsrate
k_{res}	mg CO_2 / h	Bodenatmungsrate
$Konz_{CO2}$	µmol/ml	CO_2 Konzentration
$Konz_{O2}$	µmol/ml	O_2 Konzentration
$N_{2,den}$		Eingabe der Anwenders, wieviel N_2 im Verhältnis zu N_2O entsteht
N_2O_{den}		Eingabe des Anwenders, wieviel N_2O im Verhältnis

		zu N_2 entsteht
NIT_{aut}		Eingabe des Anwenders, wieviel autotrophe Nitrifikation im Vergleich zur heterotrophen stattfindet
NIT_{het}		Eingabe des Anwenders, wieviel heterotrophe Nitrifikation im Vergleich zur autotrophen stattfindet
$O_{2,gel}$	µmol	im Wasser gelöstes O_2 (zwischen Anfang und Ende der Messung)
PCO2	hPa	Partialdruck CO_2
PO2	hPa	Partialdruck O_2
RK		respiratorischer Koeffizient O_2/CO_2 bei der Bodenatmung
V_{aq}	ml	Wasservolumen
V_{bs}	ml	Volumen der Bodensäulen
V_{head}	ml	Headspacevolumen
V_{sp}	ml	Spritzenvolumen
WG	%	Wassergehalt
X		Faktor, wie viel CO_2 bei der Denitrifikation im Verhältnis zu den NO-Gasen entsteht
Y		Faktor, wie viel CO_2 bei der Nitrifikation abgebaut wird (im Verhältnis zu O_2)

9.1.6.2 Messwerte

$Vol\%_{CO2}$	Vol%	CO_2 Volumenanteil
$Vol\%_{O2}$	Vol%	O_2 Volumenanteil
p	hPa	Druck hPa
P_{Ah}	hPa	Anfangsdruck bei der Headspacemessung hPa
P_{Eh}	hPa	Enddruck bei der Headspacemessung
t	H	Zeit
$T(t_1)$	°C	Temperatur am Anfang der Messung
$T(t_2)$	°C	Temperatur am Ende der Messung
M_{Bod}	g	Gewicht der Bodenprobe

9.1.6.3 Konstanten

M_{CO2}	g	Molmasse von CO_2 (44,009g)
M_N	g	Molmasse von Stickstoff (14g)
R	J/(K*mol)	molare Gaskonstante (8,3143 J/(K*mol))

9.1.7 Fehlerrechnung

In die ganzen Berechnungen zu BaPS gehen einige prinzipielle Unsicherheiten ein, die nicht vermieden werden können. Z.B. ob der respiratorische Koeffizient = 1 ist, wie groß das Verhältnis N_2 zu N_2O bei der Denitrifikation ist, ob zusätzliche Gase entstehen (also weitere Prozesse ablaufen), usw. Deshalb sollte auf jeden Fall geprüft werden, ob die Endergebnisse schlüssig, also in sich konsistent sind.

9.1.7.1 Sensorfehler

Grundsätzlich sind die gemessenen Parameter (Sensoren) mit Fehlern behaftet.

Folgende Fehler sind dabei relevant.

- Linearitätsfehler, da dadurch von der Kalibration abweichende Messwertdifferenzen gemessen werden (Änderung in der Steigung der Kennlinie).
- Langfristige Änderung der Sensorkennlinie.

  Stabilität der Sensoren über die Messdauer (Offsetdrift). Dieser Fehler geht absolut in das Messergebnis ein.
- Rauschen: Die kurzzeitigen Schwankungen der Sensoren und der Elektronik bestimmen die Auflösung, also die maximal erreichbare Genauigkeit. Rauschfehler können durch entsprechende elektronische oder digitale Filter reduziert werden.
- Zusätzlich gehen in die Messungen immer auch die Absolutwerte der Parameter ein, da hiermit die Gesamtzahl der Moleküle bestimmt wird. Fehler bei diesen Parametern gehen linear als Fehler in die Berechnungen ein. Die

Langzeitdrift dieser Werte ist deshalb ebenfalls relevant. Die hierbei benötigte Genauigkeit bestimmt die Kalibrationsintervalle.

9.1.7.2 Druck

Gemessen werden typischerweise Druckdifferenzen von 3...10hPa. Die maximal erreichbare relative Genauigkeit liegt bei 0,05 bis 0,1 hPa . Der relative Fehler liegt dann typischerweise bei ca. 2 % von der Meßwertänderung.

Bei der Bestimmung des Headspace treten Druckdifferenzen von ca. 10hPa auf. Die dabei erreichbare Genauigkeit beträgt ca. 0,3...0,5%.

Die typische Langzeitdrift über ein Jahr (Absolutgenauigkeit) ist besser als 0,5%. Die Sensoren werden mit einer Kalibration auf absolut 2 hPa genau ausgeliefert.

9.1.7.3 Temperatur

Die absolute Temperatur kann auf ca. 0,15 bis 0,2K bestimmt werden. Temperaturänderungen sind auf 0,03 °C meßbar.

Dieser Parameter hat besondere Bedeutung, da mit der Temperatur die anderen Meßwerte kompensiert werden. Eine Temperaturschwankung von 1K hat z.B. eine Druckänderung von 3,6 hPa im System zu Folge. Damit bestimmt die Meßgenauigkeit der Temperatur entscheidend die Genauigkeit des Gesamtsystem mit.

Eine nicht ausreichende Temperaturstabilität im System führt zu variierenden Temperaturgradienten. Deshalb ist eine hohe Temperaturstabilität wichtig für die Messung.

9.1.7.4 Sauerstoff

Gemessen werden typischerweise Abnahmen um 1...2Vol% bei ca. 20Vol%.

Die erreichbare Genauigkeit über 10h beträgt ca. 0,03 Vol%, die Stabilität über 3a: ca. 1% v.M.

➜ die relative Genauigkeit während der Messung beträgt ca. 2%.

9.1.7.5 Kohlendioxid

Gemessen wird im Bereich 0...2Vol% eine Änderung von typ. 1Vol%.

Als Sensoren werden Infra-Rot Absorptionsmessgeräte eingesetzt.

Die erreichbare Genauigkeit über 10h beträgt ca. 0,02 Vol%, die Langzeitstabilität über 2a ca. 3% v.M.

9.1.8 Weitere Fehlerquellen

Fehler in der Zeitmessung werden vernachlässigt, da sie nur linear in die Ratenberechnung eingehen. Dieser Fehler ist dementsprechend extrem klein.

9.1.8.1 Messtechnik

1. Bei der Bestimmung des Headspace geht als Fehler die Genauigkeit der entzogenen Gasmenge ein. Mit Präzisionsspritzen können Fehler von < 1% erreicht werden.
2. Bei der Druckmessung (Gesamtgasmenge) gehen Temperaturschwankungen ein. Eine Temperaturschwankung von 0,1K erzeugt eine Druckänderung von 0,36hPa (bei1000 hPa und 20 °C). Relative Temperaturschwankungen müssen deshalb gemessen und kompensiert werden. Das ist auf ca. 0,1 hPa genau möglich.
3. Bestimmung des absoluten Bodenwassergehaltes: Geschätzte Werte weisen typ. einen Fehler von ca. 3...5% WG auf. Die Messung mit gravimetrischen Methoden ist auf mind. 0,1% genau. Dabei ist jedoch zu beachten, dass je nach Boden nicht unbedingt alles Wasser an den chemischen Prozessen, also am z.B. CO_2-Austausch teilnimmt (Feinporen). Zusätzlich kann der Partialdruck im Boden größer sein als der Partialdruck im Headspace.

9.1.8.2 Systematische Fehler

1. Bodenproben sind nie zu 100% repräsentativ. Die Genauigkeit kann hier nur über sorgfältige Auswahl und eine Vielzahl von Proben gesteigert werden.
2. Es werden alle zusätzlich ablaufenden Prozesse vernachlässigt. Achtung in staunassen Böden!
3. Bei der Bodenatmung geht das Verhältnis N_2/N_2O ein. In Folge pflanzt sich dieser Fehler auch bei der Berechnung der Nitrifikationsrate fort. Dieser Fehler wird klein, wenn die Denitrifikationsrate klein ist.
4. Bei der Berechnung der Nitrifikation wird von einem respiratorischen Koeffizienten von 1 ausgegangen. Da die Bodenatmungsrate meist

verhältnismäßig groß ist, können kleine Abweichungen davon bereits zu einem relativ großen Fehler in der Nitrifikationsrate führen.

5. Das Verhältnis autotrophe/heterotrophe Nitrifikation ist nicht messbar und muss dementsprechend angenommen werden.
6. Der Austausch der Bodengase mit den Headspacegasen wird nie vollständig sein.

9.1.9 Zur Fehlerrechnung

- Die unsystematischen Fehler (Sensorfehler) werden als typische Fehler (nicht Maximalfehler) gewertet. Wenn die Absolutwerte nicht exakt bekannt sind, werden für die Rechnung plausible Werte eingesetzt.
- Bei Summen werden die Absolutwerte quadratisch addiert.
- Bei Multiplikationen werden die relativen Fehler quadratisch addiert.
- Die systematischen Fehler können von der Fehlerrechnung nicht erfasst werden. Diese muss der Anwender im jeweiligen Fall selbst abschätzen.

9.1.10 Headspacemessung

Als Fehler in der Absolutdruckmessung werden 5hPa angenommen (=Δp). Bei der Entnahme von 10 ml Headspace sinkt der Druck um ca. 10 bis 12hPa ab. Diese Druckdifferenz kann auf ca. 0,2hPa genau gemessen werden (=Δp_h). Der typische Fehler von Spritzen liegt etwa bei 1%. Damit liegen alle drei Fehler in der gleichen Größenordnung. Der Headspace ist auf ca. 2% genau bestimmbar.

Die beiden Genauigkeiten (Δp und Δp_h) bei der Druckmessung können nicht vom Anwender eingestellt werden.

9.1.11 Wassergehalt

Der Wassergehalt kann, wie bei der BaPS-Messung beschrieben, auf zweierlei Arten bestimmt werden.

1. Durch die Angabe des Wassergehaltes bei bekanntem Bodensäulenvolumen.
2. Durch die Angabe des Gewichtes des feuchten und des trockenen Bodens.

Da der Wassergehalt, selbst bei Messung mit geeigneten Sonden, nicht viel besser als auf 2Vol% genau bestimmt werden kann, ist die zweite Methode deutlich genauer. Es sollte daher immer nach der Messung das Bodentrockengewicht bestimmt werden, zumal sich die Meßergebnisse auf dieses Gewicht beziehen. Zur Bestimmung des Bodentrockengewichtes wird die Probe mind. 24h bei 105 °C im Ofen getrocknet. Siehe beispielsweise [HAR 1992].

Fehlerberechnung zu 1:

$$\Delta V_{aq} = V_{aq} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta V_{bs}}{V_{bs}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta WG}{WG}\right)^2}$$

Fehlerberechnung zu 2:

$$\Delta M_{aq} = \sqrt{\Delta M_{Bod.f}{}^2 + \Delta M_{Bod.t}{}^2}$$

9.1.12 Gelöste Gase

9.1.12.1 Gaspartialdruck

Dieser wird zur Berechnung der Lösung der Gase im Bodenwasser benötigt. Hier exemplarisch der Fehler für den Partialdruck des CO_2, die Rechnung für Sauerstoff erfolgt analog.

$$\Delta p_{CO_2} = p_{CO_2} \cdot \Delta Vol\%_{CO_2}$$

Der Fehler in Vol% kann nicht vom Anwender angepaßt werden. Er beträgt für CO_2 0,02 Vol% und für Sauerstoff 0,03 Vol%.

Diese Fehler sind bedingt durch die Stabilität der Sensoren über eine typische Meßzeit von 5 bis 10 h. Sie werden in den nachfolgenden Rechnungen für die Lösung der Gase im Bodenwasser in die Abschätzung für den zweiten Term unter der Wurzel mit aufgenommen.

9.1.12.2 Gelöstes Kohlendioxid

Die Menge an gelöstem Gas in Wasser hängt linear von der Menge an Wasser und vom Partialdruck des entsprechenden Gases ab. Zusätzlich abhängig ist sie in komplizierterer Form von der Temperatur. Die Abhängigkeit von der Temperatur wird experimentell bestimmt und in Form der Henrykonstanten

wiedergegeben. Diese Konstante ist dementsprechend, entgegen ihrem Namen, von der Temperatur abhängig. Diese Funktion wird für die BaPS-Berechnung durch ein Polynom angenähert.

Zusätzlich wird bei der Fehlerbetrachtung noch die pH Wert-abhängige Löslichkeit des CO_2 im Bodenwasser berücksichtigt.

Eine weitere Fehlerquelle ist der nicht überall im Boden exakt gleiche Partialdruck wie im Headspace.

Diese Fehler werden in folgender Formel wiedergegeben:

$$\Delta CO_{2,gel} = \left| CO_{2,gel} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta V_{aq}}{V_{aq}}\right)^2 + (0{,}04)^2 + 2 \cdot (2.303 \cdot \Delta npH)^2} \right|$$

Der zweite Term (4% relativer Fehler) beinhaltet als Abschätzung den Meßfehler der CO_2 -Sonde, den Fehler bei der Berechnung der Henrykonstanten (ca. 1%) und die Unsicherheit über die Partialdruckkonstanz über die gesamte Bodenprobe. Dieser kann vom Anwender im Register „Spezielle Parameter“ → „Fehler gelöste Gase“ eingestellt werden.

9.1.12.3 Gelöster Sauerstoff

Die Rechnung erfolgt analog zu der des gelösten CO_2, wobei keine Abhängigkeit vom pH Wert berücksichtigt wird und der abgeschätzte Fehler durch die größere Sensorungenauigkeit bei Sauerstoff größer wird.

$$\Delta O_{2,gel} = \left| O_{2,gel} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta V_{aq}}{V_{aq}}\right)^2 + (0{,}07)^2} \right|$$

Da die Löslichkeit von CO_2 wesentlich größer ist als die von O_2 ist der Fehler bei der Berechnung des gelösten Sauerstoff deutlich unkritischer als der des gelösten CO_2.

9.1.13 Gaskonzentrationen

Zur Berechnung der Gasmenge an O_2 muss der Messwert des Sensors (in Vol%) in die Konzentration umgerechnet werden. Der Fehler dabei ergibt sich folgendermaßen:

$$\Delta Konz = Konz \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta Vol\%}{Vol\%}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T + 273{,}15}\right)^2}$$

Die Fehler in den Konzentrationsänderungen, die für die Umsatzraten benötigt werden betragen

- für CO_2 ca. 2%
- für O_2 ca. 4%

9.1.14 Gas Umsatzraten

CO_2

$$\Delta dCO_2 = \sqrt{\left[V_{head}\left(Konz_{CO_2}(t_2) - Konz_{CO_2}(t_1)\right)\sqrt{\left(\frac{\Delta V_{head}}{V_{head}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Konz_{CO_2}}{Konz_{CO_2}(t_2) - Konz_{CO_2}(t_1)}\right)^2}\right]^2 + \Delta CO_{2,gel}{}^2}$$

O_2

$$\Delta dO_2 = \sqrt{\left[V_{head}\left(Konz_{O_2}(t_2) - Konz_{O_2}(t_1)\right)\sqrt{\left(\frac{\Delta V_{head}}{V_{head}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Konz_{O_2}}{Konz_{O_2}(t_2) - Konz_{O_2}(t_1)}\right)^2}\right]^2 + \Delta O_{2,gel}{}^2}$$

Gesamtes Gas (Druckmessung)

$$\Delta dn = \sqrt{\left[\frac{100 \cdot V_{head}}{R} \cdot \left(\frac{p(t_2)}{T(t_2) + 273{,}15} - \frac{p(t_1)}{T(t_1) + 273{,}15}\right)\sqrt{\left(\frac{\Delta V_{head}}{V_{head}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p(t,T)}{p(t_2,T) - p(t_1,T)}\right)^2}\right]^2 + \Delta CO_{2,gel}{}^2 + \Delta O_{2,gel}{}^2}$$

Die Umsatzraten werden mit größer werdenden Messwertänderungen immer genauer. Der Faktor Δp(t,T) bei der Fehlerrechnung zur gesamten Gasmenge stellt die Genauigkeit dar, mit der der temperaturkompensierte Druck gemessen werden kann. Für das BaPS beträgt der Wert dafür 0,1hPa. Um die angestrebte

Genauigkeit von 2% bei der Messung der Druckänderung zu erreichen muss dementsprechend eine Druckänderung von 5hPa gemessen werden.

9.1.15 Denitrifikation

Die Genauigkeit mit der die entstehenden Stickstoffverbindungen (N_2 und N_2O) gemessen werden können beträgt

$$\Delta dNO = \sqrt{\Delta dn^2 + \Delta dCO_2{}^2 + \Delta dO_2{}^2}$$

Damit wird der Fehler bei der Berechnung der Denitrifikationsrate

$$\Delta k_{den} = \left| k_{den} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta dNO}{dNO}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M_{Bod,t}}{M_{Bod,t}}\right)^2} \right|$$

wobei hier noch der Fehler bei der Bestimmung des Bodentrockengewichtes eingeht. Hier wird nochmals deutlich, warum auf eine direkte Messung dieses Parameters nicht verzichtet werden sollte.

9.1.16 Bodenatmung

Fehler in der CO2 Bilanz der Denitrifikation

$$\Delta dCO_{2,den} = \left| dCO_{2,den} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta dNO}{dNO}\right)^2} \right|$$

An dieser Stelle wird der vom Anwender einzustellende Parameter X benötigt (siehe Kapitel Rechnung ® Bodenatmung).

Fehler in der CO2 Bilanz der Nitrifikation

$$\Delta dCO_{2,nit} = \left| dCO_{2,nit} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{\Delta dn^2 + \Delta dCO_{2,den}{}^2 + \Delta dNO^2}}{dn - dCO_{2,den} - dNO}\right)^2} \right|$$

Hier wird der vom Anwender einzustellende Parameter Y benötigt (siehe Kapitel Rechnung ® Bodenatmung).

Damit kann der Fehler im CO2 Umsatz der Bodenatmung berechnet werden:

$$\Delta dCO_{2,res} = \sqrt{\Delta dCO_2{}^2 + \Delta dCO_{2,nit}{}^2 + \Delta dCO_{2,den}{}^2}$$

Der Fehler bei der Berechnung der Bodenatmungsrate beträgt damit:

$$\Delta k_{den} = \left| k_{den} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta dNO}{dNO}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M_{Bod,t}}{M_{Bod,t}}\right)^2} \right|$$

9.1.17 Nitrifikationsrate

Fehler bei der Berechnung des Sauerstoff-Umsatzes bei durch die Nitrifikation:

$$\Delta dO_{2,nit} = \sqrt{\Delta dO_2{}^2 + \left(\frac{dCO_{2,res}}{RK} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta dCO_{2,res}}{dCO_{2,res}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta RK}{RK}\right)^2} \right)^2}$$

Damit erhält man schließlich den Fehler der berechneten Nitrifikationsrate

$$\Delta k_{nit} = \left| k_{nit} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta dO_{2,nit}}{dO_{2,nit}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M_{Bod,t}}{M_{Bod,t}}\right)^2} \right|$$

9.1.18 Eingaben vor der Messung

ΔV_{sp}	ml	Spritzenvolumen
ΔWG	%	(Schätzung des) Wassergehaltfehlers
Δaut/het		Fehler im Verhältnis zwischen autotropher und heterotropher Nitrifikation
$\Delta N_2/N_2O$		Fehler im Verhältnis N_2/N_2O bei der Denitrifikation
ΔV_{bs}	Ml	Volumen der Bodensäulen
ΔCO2Henry		Summenfehler bei der Berechnung des gelösten CO_2

$\Delta O2Henry$	Summenfehler bei der Berechnung des gelösten O_2
$\Delta M_{Bod,f}$	Fehler im Anfangsgewichtes des feuchten Bodens
$\Delta M_{Bod,t}$	Fehler im Trockengewichtes des Bodens

10 Fehlersuche

Problem	Behebung
Der Unterschied Headsapce zu Bodentemperatur ist wesentlich größer als sonst	Kontrollieren Sie, ob der Ventilator noch arbeitet. Schalten Sie dazu bei abgeschraubtem Messkopf die BaPS-Elektronik ein. Das Anlaufen des Ventilators kann nun visuell überprüft werden (24-pol. Stecker muss eingesteckt sein):
Die Verbindung vom Computer zur BaPS-Elektronik lässt sich nicht herstellen	Ist das Schnittstellenkable angeschlossen? Ist der richtige COM-Port eingestellt? Wird die Elektronik mit Strom versorgt? Belegt ein anderes Programm den COM-Port?
Der Co_2-Sensor zeigt immer 3 Vol% an	Ist das Sensorkabel angeschlossen? War der Sensor vor dem Anschalten der BaPS-Elektronik angeschlossen? Wenn nicht, schalten Sie die Elektronik nochmals aus und wieder ein.
Die BaPS-Messung startet nicht	Sind die Konfigurationseinstellungen vernünftig gewählt (Temperaturstabilität)? Funktioniert der Thermostat?
Die BaPS-Elektronik lässt sich nicht einschalten	Ist das Netzkabel eingesteckt? Ist die Sicherung in Ordnung?
Die Sensordaten sind unsinnig	Sind der Kohlendioxidsensor und der Sauerstoffsensor mit Strom versorgt? Stimmen die Kalibrationsdaten?

11 Technische Daten

11.1 Elektronik

Analoge Eingänge	8, differentiell, 0...2,5 VDC
Digitale I/O-Ports	8, TTL
A/D Wandlung	24 bit
Genauigkeit	0,05 %
Schnittstelle	RS232
Kabellänge	2 m
Versorgung	115/230 V
Sicherung	1 A, flink
Stromaufnahme	max. 500 mA
Gehäusegröße:	
Breite	255 mm
Höhe	160 mm
Tiefe	260 mm
Schutzart	IP 20
Temperatur:	
Einsatz	5 ... 35 °C
Lagerung	-20 ... 70 °C

11.2 Mechanik

Technische Daten:

Anschluss CO2-Sensor	PG 11
Anschluss Drucksensor	G 1/4
Anschluss Septum	G 1/4
Anschluss Kühlflüssigkeit	Schnellkupplung
	6,4 mm Schlauch-Innendurchmesser
Stechzylindergröße:	Standard
Höhe	40,5 mm
Durchmesser	innen 56 mm, außen 60 mm
Volumen	100 ml
Gehäusegröße:	
Durchmesser	ca. 234 mm, ohne Schlauchkupplung
Höhe:	
mit Sensorkopf + Sensoren	ca. 280 mm
mit Transportdeckel	97 mm
Material	Aluminium eloxiert
Gewicht ohne Stechzylinder:	
mit Sensorkopf	ca. 6,5 kg
mit Transportdeckel	ca. 5,0 kg
Schutzart	IP 68 mit geschl. Transportdeckel
	IP 66 mit geschlossenem Sensorkopf

11.3 Sensorik

11.4 Kohlendioxid

Als CO_2 -Sensor wird ein Infrarot Absorptionsmeßgerät eingesetzt. Dieses arbeitet nach dem Einstrahl-Verfahren. In den Sensorkopf ist eine elektronische Schaltung integriert, die die Übertragung des Signals über das Kabel zur BaPS-Elektronik ermöglicht.

technische Daten:	
Messbereich	0 ... 3 Vol%
Genauigkeit	2 %
Meßprinzip	IR-Absorption
Lanzeitstabilität	3 % / a
Temperaturbereich	0 ... 40 °C
Gehäuse	
Material	Edelstahl
Durchmesser	22 mm
Länge	100 mm
Anschluss	8-pol. Steckverbinder
Gewinde	PG 11
Einstellzeit	2 min
Kalibrationsintervall	1 Jahr

11.5 Sauerstoff

Technische Daten:		
Messbereich	Vol%	0 ... 25
Genauigkeit		1 %
Messprinzip		Zirkonoxid , Strombegrenzung
Temperaturbereich		0 ... 50 °C
Gehäuse		Im BaPS-Meßkpf integriert
Einstellzeit		10 min

Die Kabellänge des Sauerstoffsensors zum Messverstärker in der BaPS-Elektronik darf niemals geändert werden.

11.6 Druck

Technische Daten:	
Messbereich	800 ... 1200 hPa
Genauigkeit	0,1 %
Langzeitstabilität	0,5 % / a
Messprinzip	Piezoresitive Druckmesszelle
Temperaturbereich	0 ... 50 °C
Gehäuse	
Durchmesser	ca. 35 mm
Länge	ca. 105 mm
Material	Edelstahl
Einstellzeit	5 s
Kalibrationsintervall	1 Jahr

Der Messverstärker ist in den Druckmesskopf integriert.

11.7 Temperatur

Zur Temperaturmessung werden zwei PT 1000 und ein PT 100 mit Genauigkeitsgrad 1/3 DIN B eingesetzt.

Ein Fühler wird zur Messung der Headspacetemperatur eingesetzt. Dieser ist am Ventilator montiert, um eine möglichst genaue Temperaturmessung zu ermöglichen.

Die anderen beiden Fühler sind in ein Edelstahlröhrchen mit Spitze integriert. Diese werden in den Boden eingestochen. Der eine Fühler dient dem BaPS als Bodenfühler, der andere steht einem externen Thermostaten zur Verfügung.

Technische Daten:	
Messbereich	-30 … 70 °C
Genauigkeit	0,1 K bei 0 °C
Messprinzip	Widerstandsänderung von Platin
Gehäuse Bodenfühler	
Material	Edelstahl
Durchmesser	5 mm
Länge	40 mm
Schutzgrad Bodenfühler	IP 68
Einstellzeit T 90	30 s

11.8 Systemvoraussetzungen

- Pentium 166 oder höher (empfohlen)
- 8 MB Arbeitsspeicher (empfohlen)
- 10 MB freier Speicher auf der Festplatte (notwendig)
- Freie RS232-Schnittstelle (notwendig)
- Graphik: 800 x 600, 65.536 Farben (empfohlen)
- Maus (notwendig)

12 Ersatzteile und Zubehör

12.1 Ersatzteile

12.1.1 BaPS Kalibrierservice

Um eine einwandfreie Funktion des BaPS Prozessanalysesystem sicherstellen zu könne, sollten die Sensoren einmal jährliche überprüft und gegebenenfalls nachkalibriert werden. UMS bietet hierzu einen Komplett-Service an (Art. Nr. BaPS-Kali).

12.1.2 Ersatzteilliste

Artikel	Bemerkung	Art. Nr.
CO_2 Sensor	incl. Einschraubgehäuse und Signalwandler	BaPS-CO2-3
O_2 Sensor	incl. Signalwandler	BaPS-O2-25
Druck Sensor		BaPS-P-800-1200
Schnellkupplung weiblich mit 6,4mm Schlauchanschluss	Schnellkupplung für die externe Temperierung	BaPS-SCH-W
Reduziernippel für Septum	VA	BaPS-RED
Silikonseptum 3mm, Durchmesser 12mm	20 Stück	BaPS-SEP
Gabelschlüssel 13/17	zum Austausch des Septums	BaPS-GAB-13/17
Lüfter		BaPS-LÜF
BaPS Gehäuse Unterteil	Siehe Zubehör	
BaPS Sensorkopf	incl. Sensoreneinbau	BaPS-SEN
BaPS Transportdeckel		BaPS-TRA

Artikel	Bemerkung	Art. Nr.
Spritze 10 ml	für die Versorgung des Sensorinterface	BaPS-SPR-10
Ersatznadel für Vakuumdichte Spritze		BaPS-SPR-ERS
Kaltgerätestecker		BaPS-KAL
RS 232 Schnittstellenkabel	3 Stück	BaPS-RS232
Thermobox		BaPS-THE
Ersatzdichtungen für den Sensorkopf		BaPS-SEN-DICH

12.2 Zubehör

12.2.1 Kältethermostat

UMS

DC50 - K10

Haake Refrigerated Circulator

This refrigerated circulator is equipped with a bath opening for direct temperature controlling samples. The built-in CFC-free cooling circuit enables efficient heat removal. This unit is often used to replace expensive tap water cooling.

Features:

- ✗ Robust design using high grade stainless steel and temperature resistant polymer with sealed bath cover
- ✗ Removable fan grid allows easy cleaning
- ✗ Bath is equipped with handles and drain opening
- ✗ 2-speed power-pump to reduce turbulences in open baths, wear-free
- ✗ Integrated overload protection
- ✗ User-resettable, adjustable overtemperature cut-out and low liquid level protection
- ✗ Easy to operate by only 4 navigation keys
- ✗ Electronic PID control using a highly sensitive Pt 1000 sensor for excellent temperature accuracy
- ✗ RS 232C interface as standard
- ✗ User-defined fixed temperatures with separate RTA for each temperature
- ✗ Display resolution selectable between 0.1 and 0.01 ° C
- ✗ Limitation of the usable temperature range by high and low temperature setting
- ✗ RTA = Real-Temperature-Adjustment
- ✗ User-adjustable correction factor to meet ISO 9004
- ✗ Alarm indication by FIS = Fault-Identification-System
- ✗ The reason for any malfunction is clearly displayed
- ✗ Built-in ETC (External Temperature Control) with a connection for an external Pt 100 sensor

Technical Specifications

Bath volume max.	3 L
Working temperature range	-10 to 150°C
Temperature accuracy	+/- 0.01 K
Cooling capacity at 20°C	240 W
Heater capacity 230V	2 kW

Specification	*Art. No.*
Haake DC50 - K10	**DC50-K10**

Specification changes reserved · Version November 2001
© 2001 by UMS GmbH

Product: Info
Dipl.-Ing. Thomas Pertassek
Tel. ++49 (0) 89 / 12 66 52 - 17 · Fax - 20
eMail: tp@ums-muc.de

Umweltanalytische Meß-Systeme · www.ums-muc.de

UMS GmbH · D-81379 München · Gmunder Straße 37

UMS

DL30 - VL26/B

Refrigerated Open Bath Circulator

This refrigerated open bath circulator is equipped with a big-sized bath opening for direct temperature controlling samples. The built-in CFC-free cooling circuit enables efficient heat removal.

Features:

- ✗ Robust design using high grade stainless steel and temperature resistant polymer
- ✗ Bath is equipped with handles and drain opening
- ✗ 2-speed power-pump to reduce turbulences in open baths, wear-free
- ✗ Integrated overload protection
- ✗ User-resettable, adjustable overtemperature cut-out and low liquid level protection
- ✗ Easy to operate by only 4 navigation keys
- ✗ Electronic PID control using a highly sensitive Pt 1000 sensor for excellent temperature accuracy
- ✗ RS 232C interface as standard
- ✗ User-defined fixed temperatures with separate RTA for each temperature
- ✗ Display resolution selectable between 0.1 and 0.01 °C
- ✗ Limitation of the usable temperature range by high and low temperature setting
- ✗ RTA = Real-Temperature-Adjustment
- ✗ User-adjustable correction factor to meet ISO 9004
- ✗ Alarm indication by FIS = Fault-Identification-System
- ✗ The reason for any malfunction is clearly displayed

Technical Specifications	
Bath volume max.	14...26 L
Bath opening (W x L x D)	30 x 35 x 20 cm
Working temperature range	-10 to 150°C
Temperature accuracy	+/- 0.01 K
Cooling capacity at 20°C	250 W
Heater capacity 230V	2 kW

Specification	Art. No.
DC50 - K10	**DC50-K10**
Optional accessories	**Art. No.**
Lifting platforms	**LP-DL30-V26/B**
Set for external circulation	**UM-DL30-V26/B**

Specification changes reserved · Version April 2002
© 2002 by UMS GmbH

Product: Info
Dipl.-Ing. Thomas Pertassek
Tel. ++49 (0) 89 / 12 66 52 - 17 · Fax - 20
eMail: tp@ums-muc.de

Umweltanalytische Meß-Systeme · www.ums-muc.de

UMS GmbH · D-81379 München · Gmunder Straße 37

12.2.2 Inkubationsbehälter

UMS

BaPS

Incubator Container

Incubator container — Art. No. BPK-100-S

- Incubator, Ø 220 mm, h 67 mm
- Material: anodised aluminium
- 2 cooling water tube connectors for 6.4 mm tube
- 7 soil sample rings, Ø 60 x 56 mm, h 40.5 mm, volume 100 cc

Incubator container — Art. No. BPK-100-U

- Incubator, Ø 220 mm, h 77 mm
- Material: anodised aluminium
- 2 cooling water tube connectors for 6.4 mm tube
- 7 soil sample rings, Ø 60 x 56 mm, h 40.5 mm, volume 100 cc

Incubator container — Art. No. BPK-250

- Incubator, Ø 220 mm, h 77 mm
- Material: anodised aluminium
- 2 cooling water tube connectors for 6.4 mm tube
- 3 soil sample rings, Ø 84 x 80 mm, h 50 mm, volume 250 cc

Specification changes reserved Version November 2001
© 2001 by UMS GmbH

Umweltanalytische Meß-Systeme · www.ums-muc.de

Product Info

Dipl.-Ing. Thomas Pertassek
Tel. ++49 (0) 89 / 12 66 52 - 17 · Fax - 20
eMail: tp@ums-muc.de

UMS GmbH · D-81379 München · Gmunder Straße 37

12.2.3 Stechzylinder-Set zur ungestörten Bodenprobennahme

UMS

Sampling Ring Set

The soil sample ring is placed in a closed ring holder.

Sample ring kit, for all soils to a depth of up to 2 m

The sample sets with a postfix SC can be used to take samples in virtually all soils. The samples can be taken on the surface, in auger holes or in profile pits, above as well as under the groundwater level. The closed ring holder in this set is fitted with a conical threaded connection which means that the ring holder may also be hammered into the soil with an impact absorbing hammer.

The set, among other items, contains: a closed ring holder, a handle with beating head, an Edelman- and a Riverside auger, extension rods, a hammering head with a guide cylinder, an aluminium case with soil sample rings and various accessories.

The samples sets with the postfix SC can be obtained for soil sample rings with a diameter of 53, 60 and 84 mm. The most commonly applied (standard) diameter is 53 mm.

Soil sample rings

Soil sample rings are stainless steel rings made of seamless tubes, smooth inside and out. The bottom of the ring has a cutting edge. The dimensions, and thus the volume content, of soil sample rings are exactly known, which makes them highly suitable for laboratory studies. With soil sample rings undisturbed samples are taken.

These are then used for, for example:

- The moisture content at various moisture tensions, from which a pF-curve can be made.
- The water permeability.
- The air permeability.
- The weight by volume.
- The density.
- The soil-water-air relationship at field capacity.
- The pore distribution.
- The oxygen diffusion.

Soil sample rings are transported in special aluminium cases, strong and resistant against humidity and heat.

The soil sample ring is hammered into the soil applying an impact absorbing hammer.

Specification changes reserved · Version November 2001
© 2001 by UMS GmbH

Product: Info

Dipl.-Ing. Axel Rescher
Tel. ++49 (0) 89 / 12 66 52 - 13 · Fax - 20
eMail: ar@ums-muc.de

Umweltanalytische Meß-Systeme · www.ums-muc.de

UMS GmbH · D-81379 München · Gmunder Straße 37

UMS

The soil sampling ring is hammered into the soil from the surface using an impact absorbing hammer and guide cylinder.

Open ring holder

In case of an open ring holder, the ring is locked in the holder by means of a lever. Over the ring about 4 cm headroom is left, allowing for an oversize sample to be taken.

Advantages of the ring holder are:
- The soil sample ring is very easily replaced.
- The ring holder is relatively insensitive to dust and dirt.
- Little resistance to penetration.

Disadvantages of the ring holder are:
- The sample is not oversized at the bottom end of the ring.
- In very weak soils, or below the water table, there is a great risk of the sample falling out of the ring.
- Sample rings may be lost through being overloaded and/or being incorrectly clamped.
- Because the sample ring is not protected, it can be damaged.

Closed ring holder

With this type of ring holder, the soil sample ring is placed in a cutting shoe. The ring is clamped inside the cutting shoe and no water or soil can come into the ring from the top side. Advantages of this ring holder are:
- The sample is oversized on both sides.
- No risk of losing a sample.
- The sample ring is in a protected position inside the cutting shoe, there is no risk of losing or damaging the ring.

Hammering head with guide cylinder

The hammering head with guide cylinder is used for filling soil sample rings in hard soil layers both on the surface and in profile pits. The sample ring is clamped to the hammering head by means of a retaining ring. The guide cylinder ensures that the sample is taken in a true straight line. The soil sample ring can simply be dug out or extruded using the bent spatula.

The sample is trimmed using a small frame saw.

Soil Sampling Set	Art. No. BPK-250
Ø 60 x 56 mm, h 40.5mm, volume 100 cc	bpe.07.60.SC
Ø 53 x 50 mm, h 51 mm, volume 100 cc	bpe.07.53.SC
Ø 84 x 80 mm, h 50 mm, volume 250 cc	bpe.03.84.SC

Specification changes reserved · Version November 2001
© 2001 by UMS GmbH

Product: Info

Dipl.-Ing. Axel Rescher
Tel. ++49 (0) 89 / 12 66 52 - 13 · Fax - 20
eMail: ar@ums-muc.de

UMS GmbH · D-81379 München · Gmunder Straße 37

Umweltanalytische Meß-Systeme · www.ums-muc.de

12.2.4 Weiteres Zubehör

Artikel	Bemerkung	Art. Nr.
Blindstopfen für Stechzylinder		BaPS-BLI-3
Stechzylinder		nach Anfrage
Schutzkappen für Stechzylinder		nach Anfrage
Systemschulung vor Ort		BaPS-SYS

13 Literaturverzeichnis

[ALE1991] Alef K. (1991); Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie; Ecomed Verlag

[BOL1997] Bollmann A., Conrad R. (1997); Soil Biology & Biochemistry 29,7; S. 1067-1077

[BRO 1989] Brooks P.D., Stark M.J., McInteer B.B., Preston T.(1989); Diffusion Method to Prepare Soil Extracts for Automated Nitrogen-15 Analysis; Soil Sci. Soc. Am. J. 53; S. 1707-1711

[DAV 1992] Davidson E.A., Stephen C.H., Firestone M.K. (1992); Internal Cycling of Nitrate in Soils of a Mature Coniferous Forest; Ecological Society of America 73(4), S. 1148-1155

[HAR 1992] Hartge K., Horn R. (1992); Die physikalische Untersuchung von Böden; Enke Verlag

[ING 1999] Ingwersen J., Butterbach-Bahl K., Gasche R., Richter O., Papen H. (1999); Barometric Prozess Separation (BaPS): New Method for Quantifying Nitrification, Denitrification and N_2O Sources in Soils; Soil Sci. Soc. Am. J., S. 117-128

[LIL 1984] Liljequist G. (1998), Allgemeine Meteorologie, Vieweg Verlag

[MOS 1993] Mosier A.R., Schimel D.S., (1993); Emission of N-Oxides from Acid Irrigated and Limed Soils of a Coniferous Forest in Bavaria; R.S. Oremland (ed.) Biogeochemistry of Global Change, Radiativly Active Trace Gases, S. 245-260

[ROW 1997] Rowell D.L., (1997); Bodenkunde; Springer Verlag

[SCHE 1998] Scheffer F., Schachtschabel P. et al. (1998); Lehrbuch der Bodenkunde (1998); Enke Verlag

[SCHL 1992] Schlegel H.G., (1992); Allgemeine Mikrobiologie; Thieme Verlag

[SMI 1990] Smith K.A., Arah J.R.M. (1990); Losses of Nitrogen by Denitrification and Emissions of Nitrogen Oxides from Soils; The Fertiliser Society, Proceedings No. 299; S. 1-34

14 Index

1

15N-pool dilution Technik · 9

4

4-Leiter Meßprinzip · 16

A

Abbruch der Messung · 45
Abgebrochene Messung · 30
Alte Messung · 39
Anpassen der Daten · 55
Anschluß Meßkopf · 25
Anschlußbelegung PT 100 · 16
ASCII · 59
autotrophe Nitrifikation · 48
Azetylen · 71
Azetylenblockierungsmethode · 72

B

Beenden der Messung · 55
Benutzerhandbuch · 29
Bipolar · 64
Bodenatmung · 73
Bodenatmungs-Rate · 72
Bodengase · 87
Bodenprobe · 73
Bodensäulenvolumen · 40
Bodenspezifische Parameter · 47
Bodentemperaturfühler, Einbau · 36
Bodenwasser · 41
Buffer · 64

C

CO2-Bilanz · 72
Common-Mode-Bereich · 64

D

Darstellung der Meßwerte · 52
Datenkabel · 25
Datensicherheit · 30
Denitrifikation · 73
Dichtfett · 18
Dichtigkeitstest · 50
Dichtigkeitstest, separater · 61
Dichtring · 18
Differenzengleichungssystem · 74
Disketten zur Installation · 28
Dokumentation · 58
Druckabnahme · 73
Druckänderung · 72, 74
Druckschwankungen durch Temperaturänderung · 86
Druckzunahme · 73
Düngung · 9

E

Einschübe · 25
Erwärmung der Kammer · 19
Excel-Programm · 29
Externe Temperaturregelung · 21
Externer Temperaturfühler
  Anschluß · 16

F

Fehlerangaben · 39
Fehlermeldung · 32
Fehlerrechnung · 87
Fenster · 29
Filter · 65
Flügelmuttern · 18
Fotos BaPS · 29
Funktionsprüfung · 15

G

Gain · 65
Gasbilanz · 74
Gaskonzentration · 79
Gasproben · 23
Genauigkeit der Sensoren · 20
Gleichungen
  Bodenatmung · 73
  Denitrifikation · 74
  Nitrifikation · 73
  Zentrale · 75
Graphische Darstellung · 53
Grenzwert Nitrat · 9

H

Headspacebestimmung · 50
Henrykonstante · 78
heterotrophe Nitrifikation · 48
Hochohmige Signale · 64

I

Importieren in andere windows
  Anwendungen · 59
Informationen · 46
Inkubation · 71
Inkubationskammer · 17
Intervall der Messung · 42

K

Kalibration · 63
  CO2 Sensor · 22
  Drucksensor · 21
  Sauerstoffsensor · 22
Kalibrationsparameter · 63
Kondensierende Feuchte · 19
Konfiguration · 29
Konfigurationsdatei · 38
Kühlkreislauf, externer · 15
Kühlschlange · 17
Kupplungen für Kühlflüssigkeit · 15

L

Lochblech · 19

M

Massenspektrometer · 70
Messablauf Übersicht · 10
Messdauer · 9
Meßkopf · 19
Meßkopfanschluß · 37
Messung · 34
Meßwertdarstellung · 30
Meßwerte, aktuelle · 15
Mikrobiologische Prozesse · 73

N

Nadel · 26
Netzanschluß · 24
Netzschalter · 19
Nitrat-Grenzwert · 9
Nitrifikation · 9, 73
Notch · 65

O

O2-Bilanz · 72

P

Parameter · 60
Partialdruck · 78
Probenahme · 34
Probenahmestandort · 35
PT 100 · 20
PT 100, Meßprinzipskizze · 16

R

Rauschen · 84
Reinigung · 61
Respiratorischer Koeffizient · 86
RS232 Schnittstelle · 25

S

Sauerstoffsensor · 22
Saure Böden · 48
Schlauchdurchmesser · 15
Schnellkupplungen · 15, 17
Schwellwerte · 44
Sensoren · 20
Sensorinterface · 23
Septum · 22
Shore-Härte · 18
Shuntwiderstand · 66
Sicherung · 24
Sicherungskopien · 31
Signalglättung · 65
Signalstabilität · 84
Software · 27
Software-Fehler · 31
Sonneneinstrahlung · 35
Speichern · 51
Spritzenvolumen · 42
Standardisierte Messungen · 30
Start der Messung · 41, 49
Start der Programmes · 38
Stechzylinder · 17
Systemdruck · 73

T

Tabellarische Darstellung · 54
Temperatursensor · 20
  Externer · 16
Temperaturstabilität · 40, 85
Temperieren · 37
Thermostat
  Anschluß · 15
  Eigenschaften · 37
Transport · 17, 34, 35
Trinkwasser · 9
Trockengewicht · 41

U

Umsatzraten · 79
Umweltrelevanz · 9
Unipolar · 64

V

Ventile · 16
Verlängerung der Meßzeit · 44
Verschrauben des Meßkopfes · 36
Verstärkung · 65

W

Wasserbad · 37
Wasserdampfdruck · 77
Wassergehaltsbestimmung · 57

X

X · 80

Y

Y · 81

15 Ansprechpartner

Allgemeine Produktinformationen:

Hr. Dipl. Ing. Thomas Pertassek

Tel. ++ 49 (0) 89 12 66 52 - 17 ◆ Fax – 20

eMail: tp@ums-muc.de

UMS GmbH ◆ Gmunderstr. 37 ◆ D-81379 München

Hardware:

Hr. Dipl. Ing. Andreas Steins

Tel. ++ 49 (0) 89 12 66 52 - 18 ◆ Fax – 20

eMail: as@ums-muc.de

UMS GmbH ◆ Gmunderstr. 37 ◆ D-81379 München

Software:

Hr. Dipl. Ing. Thomas Pertassek

Tel. ++ 49 (0) 89 12 66 52 - 17 ◆ Fax – 20

eMail: tp@ums-muc.de

UMS GmbH ◆ Gmunderstr. 37 ◆ D-81379 München

Wissenschaftliche Fragestellungen:

Hr. Dr. Klaus Butterbach-Bahl

Tel. ++ 49 (0) 88 21 183 - 136

eMail: klaus.butterbach@imk.fzk.de

Institut fuer Meteorologie und Klimaforschung ◆ Bereich Atmosphaerische Umweltforschung ◆ Forschungszentrum Karlsruhe GmbH ◆ Kreuzeckbahnstr. 19 ◆ D-82467 Garmisch-Partenkirchen

Institut für Meteorologie und Klimaforschung ◆ Bereich Atmosphaerische Umweltforschung ◆ Forschungszentrum Karlsruhe GmbH ◆ Kreuzeckbahnstr. 19 ◆ D-82467 Garmisch-Partenkirchen

16 Notizen

© 2000- 2002 UMS-GmbH München

Gmunder Str. 37, D-81379 München

Tel. +49 (0) 89-12 66 52-0

Fax +49 (0) 89-12 66 52-20

www.ums-muc.de

BaPS@ums-muc.de

Die Barometrische Prozess-Separation ist vom IFU als Patent angemeldet - die Firma UMS-GmbH ist alleiniger Lizenznehmer